

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkranke
der Universität Erlangen - Nürnberg

Direktor: Professor Dr. M. E. Wigand

Die kalorische Prüfung
des kindlichen Gleichgewichtsorganes –
eine elektronystagmographische Studie
zur Feststellung der Altersabhängigkeit
der vestibulookulären Antwort

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

vorgelegt von
Wolfgang Muckelbauer
aus Bamberg

1984

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkranke
der Universität Erlangen - Nürnberg

Direktor: Professor Dr. M. E. Wigand

**Die kalorische Prüfung
des kindlichen Gleichgewichtsorganes –
eine elektronystagmographische Studie
zur Feststellung der Altersabhängigkeit
der vestibulookulären Antwort**

**Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg**

vorgelegt von
Wolfgang Muckelbauer
aus Bamberg

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg

Dekan: Prof. Dr. F. Wolf
Referent: Priv.-Doz. Dr. T. Haid
Korreferent: Prof. Dr. M.E. Wigand
Tag der mündlichen Prüfung: 09.07.1984

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung.....	1
2. Methodik.....	2
2.1. Untersuchungsgut.....	2
2.2. Die kalorische Prüfung.....	3
2.2.1. Anatomische und physiologische Grundlagen des kalorischen Nystagmus.....	3
2.2.2. Methodik der kalorischen Prüfung.....	4
2.3. Auswertung des kalorischen Nystagmus.....	7
2.4. Statistische Grundlagen.....	9
3. Ergebnisse.....	11
3.1. Altersabhängigkeit der Meßwerte der kalorischen Prüfung bei Kindern.....	11
3.1.1. Maximale Schlagzahl/30sec.....	11
3.1.2. Maximale Winkelgeschwindigkeit/30sec.....	14
3.1.3. Maximale Gesamtamplitude/30sec.....	17
3.1.4. Maximale Durchschnittsamplitude/30sec.....	19
3.1.5. Reaktionsdauer.....	21
3.2. Korrelationen zwischen den Nystagmusparametern.....	24
3.3. Differenzen der Erregbarkeit.....	26
3.3.1. Seitendifferenz der Erregbarkeit.....	26
3.3.2. Richtungsüberwiegen des Nystagmus.....	28
4. Diskussion.....	30
4.1. Die Altersabhängigkeit der kalorischen Reaktion.....	30
4.2. Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren.....	34
4.2.1. Absolute Werte der Reaktionsintensität.....	34
4.2.2. Differenzen der Reaktionsintensität.....	45
5. Zusammenfassung.....	51
6. Literaturverzeichnis.....	52



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546207_0080

1. Einleitung

Die von BARANY (4) 1906 eingeführte Methode der thermischen Vestibularisprüfung stellt nach wie vor eine wichtige Untersuchungsmethode der seitengetrenten Prüfung beider Labyrinth dar. Sie kann eine periphere und zentrale Störung differenzieren. Mit Hilfe der Elektronystagmographie lassen sich die Meßwerte der kalorischen Prüfung dokumentieren und verschiedene Parameter der vestibulär-optomotorischen Reaktion exakt auswerten und quantifizieren.

Untersuchungen dieser Art werden vornehmlich an Erwachsenen vorgenommen. Auf der Basis von an Vestibularisgesunden gewonnenen Ergebnissen werden "Normbereiche" aufgestellt, um Kriterien für eine pathologische Erregbarkeit des Vestibularorgans zu gewinnen (57,73,76,89,100). Bei der Durchsicht der Literatur findet sich nur wenig über die "normale" kalorische Reaktionslage des kindlichen Gleichgewichtsorgans (40,66). Arbeiten über kalorische Prüfung bei Kindern ohne nähere Angaben von "Normwerten" wurden nicht berücksichtigt.

In der vorliegenden Arbeit wurde an 120 vestibularisgesunden Kindern im Alter von 5 bis 14 Jahren die kalorische Prüfung durchgeführt, um die vestibulookuläre Altersabhängigkeit der einzelnen Meßwerte zu untersuchen.

2. Methodik

2.1. Untersuchungsgut

Das Untersuchungskollektiv setzt sich aus 120 Kindern im Alter von 5 bis 14 Jahren zusammen und entstammt dem stationären Patientengut der Hals-Nasen-Ohrenklinik der Universität Erlangen-Nürnberg. In der Regel wurden bei diesen Kindern Adenotonsillektomien und plastische Operationen wie Ohrmuschelkorrekturen durchgeführt.

Eine Indikation zur Vestibularisprüfung und somit auch zur kalorischen Prüfung des kindlichen Gleichgewichtsorganes besteht ähnlich wie für Erwachsene bei der Differenzierung verschiedener Symptombilder z.B. peripher oder zentral bedingter Schwindel, sensoneuraler Hörverlust, Hörsturz (43).

Die kalorische Prüfung wurde von den befragten Eltern gebilligt und mit besonderer Vorsicht ausgeführt.

Von den insgesamt 466 durchgeführten Spülungen an 120 Kindern ließen sich 301 exakt auswertbare ENG-Kurven ableiten; auch Teilprüfungen wurden mitverwertet. Bei 54 Kindern konnte die Nystagmusreaktion aller 4 Spülungen aufgezeichnet werden.

Das Durchschnittsalter der in der vorliegenden Arbeit ausgewerteten Fälle betrug 10,1 Jahre, wobei 45 Kinder männlichen Geschlechts und 54 weiblichen Geschlechts waren. 20 Kinder hatten ein Alter zwischen 5 und 7 Jahren, 33 Kinder ein Alter zwischen 8 und 10 Jahren und 46 Kinder ein Alter zwischen 11 und 14 Jahren.

Diese Kinder erfüllten folgende Kriterien:

- unauffällige otoneurologische Anamnese wie z.B. Schwindel und Schädel-Hirntrauma
- unauffälliger Trommelfellbefund
- normales Audiogramm
- Fehlen eines Spontannystagmus

Bei drei Kindern im Alter von 13 und 14 Jahren mußte die kalorische Prüfung wegen starker vegetativer Reaktionen wie Erbrechen abgebrochen werden.

2.2. Die kalorische Prüfung

2.2.1. Anatomische und physiologische Grundlagen des kalorischen Nystagmus

Das paarig angelegte Gleichgewichtsorgan liegt im Felsenbein des Schädels und besteht funktionell aus Bogengangsapparat mit drei Bogengängen und Statolithenapparat (Utriculus und Sacculus). Durch die Registrierung aller Arten von Beschleunigung einschließlich der Gravitation ermöglichen beide Systeme die Orientierung im Raum und somit die Kontrolle des Körpergleichgewichtes. Der adäquate Reiz für die Otolithenrezeptoren ist die Linearbeschleunigung, für die Bogengangsrezeptoren die Winkelbeschleunigung.

Die drei Bogengänge sind so angeordnet, daß sie untereinander einen rechten Winkel bilden und somit drei Raumebenen entsprechen. Durch Bewegungen des Kopfes in einer der Ebenen gerät das mit Flüssigkeit gefüllte System (Endolympe) in Bewegung, wobei sich die Endolympe wegen ihrer Massenträgheit relativ in Gegenrichtung bewegt und dadurch die Cupula in Gegenrichtung auslenkt. In die Cupula, eine gallertartige Substanz, reichen fädige Fortsätze (Zilien) der Sinneszellen hinein.

Im Utriculus und Sacculus sind kleine, kalziumhaltige Kristalle (Otolithen) in eine gallertartige Deckschicht eingebettet, die einen konstanten Druck auf die Zilien ausüben. Durch Linearbeschleunigung, und zwar entsprechend der Anordnung des Statolithenapparates in den Dimensionen oben-unten und vorne-hinten, werden die Otolithen infolge Auftretens von Scherkräften auf ihrer Unterlage verschoben.

Die im Gleichgewichtsorgan entstehende Erregung wird vom Vestibularisnerven zu den Vestibulariskernen im Rautenhirn weitergeleitet. Von hier aus bestehen zahlreiche Verbindungen wie z.B. zur Formatio reticularis, zum Rückenmark, zum Kleinhirn, zum Thalamus, zum Großhirn und vor allem über den sogenannten fasciculus longitudinalis medialis zu den Augenmuskelnkernen. Das Vestibularissystem steuert Muskeltonus und Motorik über diese Verbindungen derart, daß das Gleichgewicht bei jeder Art von Bewegung kontrolliert werden kann.

Die Gleichgewichtsorgane geben ständig "Impulse" in Form von spontanen elektrischen Aktionspotentialen zu den Vestibulariszentren ab, wodurch ein "Tonusgleichgewicht" zwischen rechts und links besteht. Jede Funktionsbeeinträchtigung in einem Gleichgewichtsorgan verursacht eine ungleiche Aktivität in den übergeordneten Vestibulariszentren. Es lassen sich pathologische Augenbewegungen beobachten, die als Nystagmus bezeichnet werden.

Der Nystagmus besteht aus einer schnellen, zentral gesteuerten und aus einer langsamen, labyrinthär bedingten Augenbewegung. Die Schlagrichtung des Nystagmus wird wegen der besseren Erkennbarkeit nach der schnellen Phase benannt.



Wird der Gleichgewichtsapparat durch thermische Reize "erregt", so spricht man bei den daraus resultierenden Augenbewegungen vom kalorischen Nystagmus.

Der horizontale Bogengang liegt am weitesten lateral und wird bei der Ohrspülung zuerst erregt. Die Endolymphe steigt infolge Änderung des spezifischen Gewichtes bei Erwärmung auf bzw. bei Abkühlung ab. Die Endolymphströmung bedingt eine Ablenkung der in den Bogengang hineinreichenden Haarzellen. Warmspülung erzeugt einen Nystagmus zum stimulierten Ohr, Kaltspülung zur entgegengesetzten Seite. Da der horizontale Bogengang in einem Winkel von 30° nach vorne aufsteigt und in einer vertikalen Bogengangsstellung die stärkste Endolymphströmung zu erwarten ist, muß der Kopf im Liegen um 30° angehoben oder im Sitzen um 60° zurückgeneigt sein.

2.2.2. Methodik der kalorischen Prüfung

Die kalorische Prüfung erfolgte in einem geräuscharmen und abgedunkelten Raum. Der Nystagmus wurde mittels Elektornystagmographie über einen Vierkanalschreiber (Firma Schwarzer) aufgezeichnet d.h. durch Ableiten des retinocornealen Potentials über seitlich der Augen auf der Haut angelegte Elektroden (Abb. 1). Der Papiervorlauf betrug 1 cm/sec.

In den äußeren Gehörgang wurden während 30 Sekunden 100 ml Wasser gespült, das in thermostatgeregelten Wasserbädern auf die entsprechende Temperatur erwärmt wurde (Abb.2). Spülung und Registrierung wurden in einer um 30° aus der Horizontalen angehobenen Körperposition vorgenommen (Abb.3). Die Registrierung des Nystagmus erfolgte bei geschlossenen Augen. Um ein konstant hohes Vigilanzniveau zu erzielen, führten die Kinder einfache Rechenaufgaben im Kopf aus. Bei kleineren Kindern halfen gutes Zureden und beruhigende Worte.

Die kalorische Prüfung wurde in folgender Reihenfolge ausgeführt: re 44°C -li 44°C -li 30°C -re 30°C . Zwischen den Spülungen wurde eine Pause von 8 Minuten eingeschaltet. Vor jedem Registriervorgang ist eine Eichung des ENG-Gerätes durchgeführt worden (Abb.4). Einem Blickwinkel von 20° entsprach ein Schreibausschlag von 2 cm.



Abb.1 Ableiten des Nystagmus
über 5 seitlich der Augen
angelegte Elektroden



Abb.2 Durchführung der kalorischen Prüfung



Abb.3 Körperposition während der Registrierung des Nystagmus

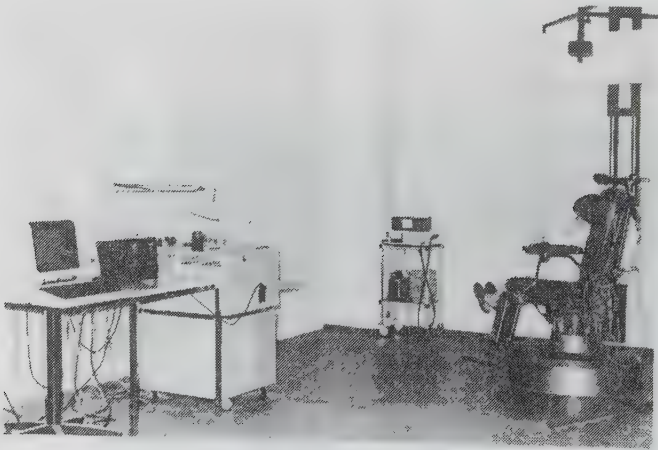


Abb.4 Durchführung der Kalibration mit dem Eichkreuz

2.3. Auswertung des kalorischen Nystagmus

Geprüft wurden im Kulminationsbereich von 30 Sekunden (Zeit der größten Reaktionsintensität) folgende Nystagmusparameter: 1. maximale Schlagzahl (max. fr), 2. maximale Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase (max.SPV= slow phase velocity), 3. maximale Gesamtamplitude (max.A), 4. maximale Durchschnittsamplitude (max.Ä). Zusätzlich wurde die Reaktionsdauer (d) gemessen. Nur eindeutige Nystagmusausschläge wurden herangezogen.

Die maximale Schlagzahl ließ sich durch einfache Auszählung der Nystagmusausschläge innerhalb der Kulminationszeit ermitteln.

Zur Bestimmung der maximalen Geschwindigkeit der langsamen Phase wurden Tangenten an drei langsamen Phasen von Nystagmusausschlägen mit der größten Winkelgeschwindigkeit angelegt, deren Basis annähernd horizontal verlief und die als charakteristisch für den entsprechenden Zeitabschnitt anzusehen waren. Anschließend wurde aus der Steilheit der drei Geraden das arithmetrische Mittel gebildet und entsprechend der linearen Winkeleichung in Winkelgrad/sec umgerechnet (Abb.5).

Die maximale Gesamtamplitude ließ sich durch Summierung aller langsamen Phasen der Einzelausschläge innerhalb der Kulminationszeit ermitteln. Dies erfolgte mit Hilfe von Millimeterpapier, an dessen Rand die einzelnen Nystagmusamplituden aufaddiert wurden. Das Ergebnis wurde anschließend, entsprechend der Kalibrierung, in Winkelgrad angegeben.

Die maximale Durchschnittsamplitude ist eine abgeleitete Größe. Sie stellt den Quotienten aus Gesamtamplitude und Schlagzahl während der Kulminationszeit dar. Ihr Ergebnis wird in Winkelgrad angegeben.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Reaktionsdauer vom Beginn der Nystagmusreaktion bis zum letzten Nystagmusausschlag gemessen. Die elektronystagmographische Aufzeichnung erfolgte unmittelbar nach Beendigung der Kalorisation von 30 Sekunden.

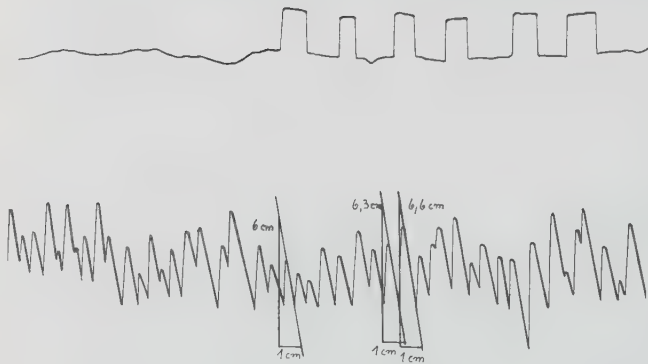


Abb.5 ENG-Kurve eines 6jährigen Kindes anhand der linken Kaltspülung im Kulminationsbereich von 30sec, einschließlich der Kalibration. In dieser Abbildung ist nur das Summenpotential für die horizontalen Nystagmusausschläge abgebildet. Einem Blickwinkel von 20° entspricht ein Schreibausschlag von 2cm. Die Papiergeschwindigkeit beträgt 1cm/sec. Entsprechend der Steilheit der Tangenten an drei charakteristischen Nystagmusausschlägen mit der größten Winkelgeschwindigkeit und horizontaler Basis wurde aus dem arithmetrischen Mittel die max. Winkelgeschwindigkeit/30sec ($63^\circ/\text{sec}$) berechnet.

2.4. Statistische Grundlagen

In der vorliegenden Arbeit wurde zunächst die Verteilung der ausgewerteten Parameter untersucht. Mit Hilfe des Wahrscheinlichkeitspapiers läßt sich feststellen, ob eine gegebene Häufigkeitsverteilung normalverteilt ist. Wie die zwei Beispiele in Abbildung 6 zeigen, sind die Meßwerte nicht normalverteilt. Bei einer Gaußverteilung würde sich auf dem Wahrscheinlichkeitspapier eine Gerade ergeben.

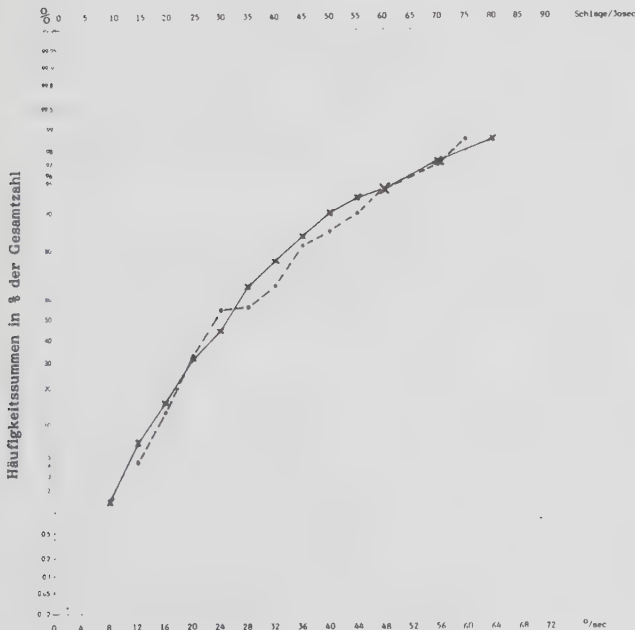


Abb.6 Graphische Darstellung der Verteilung der relativen Summenhäufigkeiten von max. Schlagzahl/30sec (---•) und max. SPV/30sec (x—x) anhand der rechten Warmspülung auf dem Wahrscheinlichkeitsnetz

Zum Vergleich der Ergebnisse verschiedener Autoren wurden Mittelwert und Standardabweichung angegeben. Nach Vorschlägen von MULCH (71,73) sollte sich die Beurteilung der thermischen Prüfung auf Interquantilbereiche stützen, innerhalb derer sich ein vorgegebener Prozentsatz des Untersuchungskollektives befindet. Diese Quantilbereiche erscheinen deshalb sinnvoll, weil die Ergebnisse der kalorischen Prüfung nicht normalverteilt sind.

Zur Überprüfung der Abhängigkeit ermittelter Werte eignet sich der Spearmansche Rang-Korrelationskoeffizient. Er ist ein Maß für die lineare Beziehung zweier Merkmale. Es wurden sowohl die Abhängigkeit der Nystagmusparameter untereinander als auch in bezug auf das Alter untersucht. In den jeweiligen Streudiagrammen wurden beide Regressionsgeraden eingezeichnet; je kleiner der Winkel zwischen beiden ist, desto größer ist die Abhängigkeit zwischen zwei Größen. Die Korrelation wurde mit Hilfe des Spearmanschen Rang-Korrelationskoeffizienten zweiseitig auf Signifikanz überprüft (für 5%, 2%, 1% und 0,1%).

An dieser Stelle gilt mein Dank Herrn Dr. M. Berg und Herrn S. Hoth für die tatkräftige Betreuung hinsichtlich der statistischen Auswertung der Ergebnisse.

3. Ergebnisse

3.1. Altersabhängigkeit der Meßwerte der kalorischen Prüfung bei Kindern

3.1.1. Maximale Schlagzahl/30sec

Die Tabelle 1 gibt die Medianwerte, Interquantilbereiche, Mittelwerte, Standardabweichungen der maximalen Schlagzahl/30sec wieder, und zwar für die Gesamtheit der Kinder wie auch für die einzelnen Altersgruppen, sowie die Korrelationen mit dem Alter. Bei den Altersgruppen wurden jeweils Kalt- und Warmspülungen zusammengefaßt, weil für die Berechnung eines Quantils eine gewisse Anzahl von Daten notwendig ist.

Mittel- bzw. Medianwerte aller 4 Spülungen liegen bei 32,9 bzw. 31 Schlägen/30sec. Der 90%-Interquantilbereich bewegt sich zwischen 17 und 56 Schlägen/30sec. Für die Ergebnisse der Kalt- und Warmspülungen lassen sich keine deutlichen Unterschiede bezüglich der Mittel- und Medianwerte feststellen.

Beim Vergleich der Altersgruppen nehmen Mittel- bzw. Medianwerte der maximalen Schlagzahl mit dem Alter zu. Sie liegen für die 5 bis 7jährigen bei 26,9 bzw. 25, für die 8 bis 10jährigen bei 31,8 bzw. 30 und für die 11 bis 14jährigen Kinder bei 36,2 bzw. 36 Schlägen/30sec.

Werden die Korrelationen zwischen maximaler Schlagzahl und Alter ermittelt, so läßt sich auch hier eine Altersabhängigkeit aufzeigen. Der Spearmansche Rang-Korrelationskoeffizient aller 4 Spülungen liegt bei +0,23, wobei die Warmspülungen ($r_s = +0,29$) einen höheren Wert annehmen als die Kaltspülungen ($r_s = +0,17$). Für die Warmspülungen errechnet sich ein hohes Signifikanzniveau (0,1%) im Vergleich zu den Kaltspülungen (5%). Von den Einzelspülungen

Alter	r_s	s	m	Spülung	100%	94%	90%	80%	50%	80%	90%	94%	100%
5-14 Jahre	+0,34 ^c	15,0	34,5	re 44°C	12	14,5	17	18,5	29	54,5	66	70,5	83
	+0,22 ^a	11,7	32,5	li 44°C	12	15	18	20	30,5	49,5	75,5	60	69
	+0,18	10,6	31,9	li 30°C	15	17	19	19	30	47	51,5	56	62
	+0,15	10,3	32,8	re 30°C	14	16	18	20,5	31,5	47	51,5	56	62
	+0,29 ^d	13,4	33,4	W	12	14,5	17	19	30	51	60	67,5	83
	+0,17 ^a	10,5	32,3	K	14	16,5	19	20	31	47,5	50,5	54	62
	+0,23 ^d	12,0	32,9	Z	12	16	17	20	31	49	56	59,5	83
5-7 Jahre		6,7	26,2	W	14	-	14,5	20	25	33,5	43	-	44
		8,8	27,4	K	16	-	18	19	24,5	42	46,5	-	49
		8,0	26,9	Z	14	15,5	16,5	19	25	40	44	46,5	49
8-10 Jahre		12,3	31,4	W	14	15	16,5	19	28	45,5	60	70	71
		8,9	32,1	K	15	19	20,5	22	31	43,5	46,5	52,5	58
		10,7	31,8	Z	14	16,5	18	20	30	44,5	51	57,5	71
11-14 Jahre		14,4	37,6	W	12	14,5	17	19,5	37	58	60	68	83
		11,4	34,8	K	14	16	19	20	34,5	49	54	55	62
		13,1	36,2	Z	12	16	17	20	36	54	59,5	61	83

Tab.1 Kalorische Reaktion gesunder Kinder, gemessen an der maximalen Nystagmus-Schlagzahl in der Kulminationsphase von 30 Sekunden. Angabe der Medianwerte (50%), Interquantilbereiche, Mittelwerte (m), Standardabweichungen (s), gegliedert nach Altersgruppen (5-14, 5-7, 8-10 u. 11-14 Jahre) und nach Spülungen (einzelne Spülung, Warmspülung (W), Kaltspülung (K) u. alle 4 Spülungen (Z)), sowie der auf Signifikanz getesteten Spearmanschen Rang-Korrelationskoeffizienten (r_s) zwischen Alter und max. Schlagzahl/30sec für 5% (a), 2% (b), 1% (c) und 0,1% (d)

ist die Altersabhängigkeit der rechten Warmspülung am stärksten signifikant (1%), während für die beiden Kaltspülungen sich keine statistisch abgesicherte Altersabhängigkeit ergibt.

Insgesamt gesehen besteht eine signifikante Abhängigkeit zwischen Alter und maximaler Schlagzahl/30sec, wenn auch die Korrelation mit dem Alter nur gering ausgeprägt ist. Für die rechte Warmspülung ist im Scatterdiagramm die Abhängigkeit zwischen Alter und maximaler Schlagzahl graphisch dargestellt, einschließlich der beiden Regressionsgeraden (Abb.7).

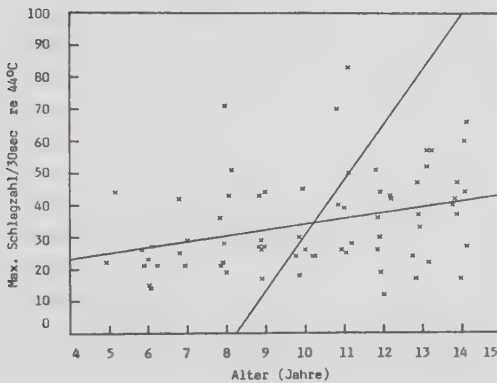


Abb.7 Abhängigkeit zwischen Alter und max. Schlagzahl/30sec für re 44°C. Beide Regressionsgeraden wurden eingezeichnet.

3.1.2. Maximale Winkelgeschwindigkeit/30sec

Die Tabelle 2 gibt Auskunft über Medianwerte, Interquantilbereiche, Mittelwerte, Standardabweichungen der maximalen Winkelgeschwindigkeit/30sec und über die auf Signifikanz getesteten Korrelationen mit dem Alter.

Die Mittel-bzw. Medianwerte aller 4 Spülungen liegen bei 26,5 bzw. 25°/sec, wobei die Werte der Kaltspülungen (27,7 bzw. 26°/sec) geringfügig über denen der Warmspülungen (25,2 bzw. 24°/sec) liegen. 90% aller Daten bewegen sich zwischen 11°/sec und 48,5°/sec.

Bezüglich der Altersabhängigkeit der Werte läßt sich interessanterweise eine Abnahme der Winkelgeschwindigkeit mit zunehmenden Jahren feststellen. Für die 5 bis 7jährigen liegen die Mittel-bzw. Medianwerte aller Spülungen bei 34,9 bzw. 32°/sec, für die 8 bis 10jährigen bei 25,9 bzw. 25°/sec und für die 11 bis 14jährigen Kinder bei 23,4 bzw. 22°/sec.

Die Abhängigkeit zwischen Alter und maximaler Winkelgeschwindigkeit läßt sich im Spearmanschen Rang-Korrelationskoeffizienten näher quantifizieren. Dabei nehmen die Kaltspülungen mit -0,44 einen höheren Wert an als die Warmspülungen mit -0,24. Für die linke Kaltspülung ist die Beziehung zwischen maximaler Winkelgeschwindigkeit und Alter graphisch dargestellt, einschließlich der beiden Regressionsgeraden (Abb.8). Während bei den Kaltspülungen die Mittel-bzw. Medianwerte aller Altersgruppen deutlich abnehmen, sind bei den Warmspülungen die genannten Werte bezüglich der 8 bis 10 und 11 bis 14jährigen Kinder annähernd identisch.

Alter	r_s	s	m	Spülung	100%	94%	90%	80%	50%	80%	90%	94%	100%
5-14 Jahre	-0,23	11,6	27,0	re 44°C	7	11	11	14	25,5	42	53	58	65
	-0,25 ^a	11,1	23,5	li 44°C	5	6	7,5	11	22	39	42,5	49	58
	-0,44 ^d	12,2	28,6	li 30°C	8	10,5	12	15	27	47	49,5	56	67
	-0,44 ^d	11,8	26,8	re 30°C	6	7,5	11	14	26	41,5	50	59,5	64
	-0,24 ^c	11,4	25,2	W	5	7	8,5	12	24	39	46	54,5	65
	-0,44 ^d	12,0	27,7	K	6	10,5	11	18,5	26	45	49,5	56,5	67
	-0,34 ^d	11,8	26,5	Z	5	8	11	13	25	42,5	48,5	55	67
5-7 Jahre		8,9	31,5	W	20	-	20	21,5	32	41,5	52,5	-	61
		13,2	37,7	K	15	-	17,5	20	37,5	61	62,5	-	67
		11,9	34,9	Z	15	17,5	20	20,5	32	49,5	61	62,5	67
8-10 Jahre		12,2	24,3	W	5	5,5	8,5	12	22	36	56,5	61,5	65
		9,5	27,3	K	11	12	13,5	15,5	27	39	44,5	49	55
		11,0	25,9	Z	5	11	11	13	25	38	49	55	65
11-14 Jahre		10,9	23,4	W	6	7	8	11	21,5	39	43	50,5	54
		10,2	23,4	K	6	7,5	8	11,5	22	36,5	45	46,5	58
		10,6	23,4	Z	6	7	8	11	22	39	44,5	47,5	58

Tab.2 Kalorische Reaktion gesunder Kinder, gemessen an der maximalen Nystagmus-Winkelgeschwindigkeit in der Kulminationsphase von 30 Sekunden. Angabe der Medianwerte (50%), Interquantilbereiche, Mittelwerte (m), Standardabweichungen (s), gegliedert nach Altersgruppen (5-14, 5-7, 8-10 u. 11-14 Jahre) und nach Spülungen (einzelne Spülung, Warm-spülung (W), Kaltspülung (K) u. alle 4 Spülungen (Z)), sowie der auf Signifikanz getesteten Spearmanschen Rang-Korrelationskoeffizienten (r_s) zwischen Alter und max. SPV/30sec für 5% (a), 2% (b), 1% (c) und 0,1% (d)

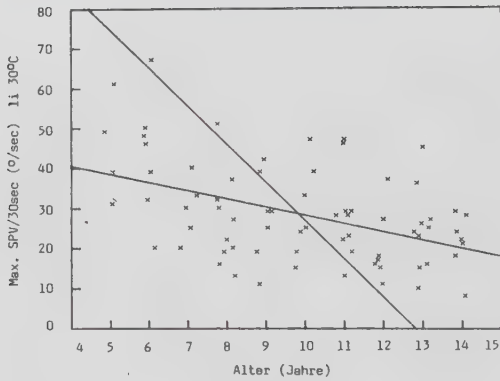


Abb.8 Abhängigkeit zwischen max. SPV/30sec und Alter für li. 30°C. Beide Regressionsgeraden wurden eingezeichnet.

Werden die Abhängigkeiten der einzelnen Spülungen vom Alter auf statistischer Basis überprüft, so ergeben sich für die beiden Kaltspülungen ein niedriges Signifikanzniveau (je 0,1%), für die linke Warmspülung nur ein Signifikanzniveau von 5% und für die rechte Warmspülung keine signifikante Wahrscheinlichkeit.

3.1.3. Maximale Gesamtamplitude/30sec

Wie in den beiden vorhergehenden Abschnitten sind in Tabelle 3 für die maximale Gesamtamplitude während der Kulminationszeit von 30 Sekunden die Mittel- und Medianwerte, Standardabweichungen, Interquantilbereiche und die Korrelationen mit dem Alter dargestellt.

Mittel- bzw. Medianwert der maximalen Gesamtamplitude beträgt $329,8^{\circ}$ bzw. 292° . Die Kaltspülungen weisen eine größere Gesamtamplitude auf als die Warmspülungen; für die Mittel- bzw. Medianwerte errechnen sich Gesamtamplituden von $354,1^{\circ}$ bzw. 317° , für die der Warmspülungen errechnen sich Gesamtamplituden von $304,8^{\circ}$ bzw. 273° .

Bezüglich der Altersabhängigkeit läßt sich keine signifikante Korrelation der Warmspülungen ermitteln. Dagegen ergibt sich für den Spearmanschen Rang- Korrelationskoeffizienten der Kaltspülungen ein Wert von $-0,33$ mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $0,1\%$. Aus Abbildung 9 ist die Abnahme der Gesamtamplitude der rechten Kaltspülung mit zunehmenden Alter ersichtlich.

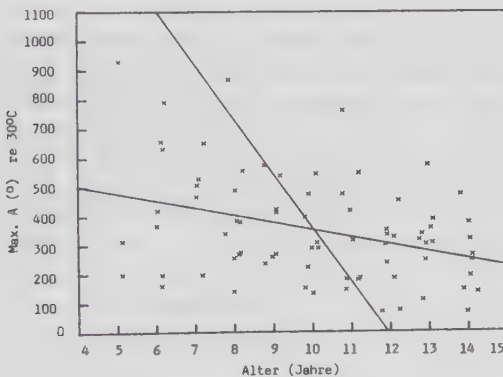


Abb.9 Abhängigkeit zwischen Alter und max. Gesamtamplitude/30sec für re 30°C. Beide Regressionsgeraden wurden eingezeichnet.

Alter	r_s	s	m	Spülung	100%	94%	90%	80%	50%	80%	90%	94%	100%
5-14 Jahre	-0,04	172,5	322,5	re 44°C	84	88,5	120	158	288,5	553	730	795,5	826
	-0,14	161,4	288,8	li 44°C	53	76,5	91,5	122	261	488	553	733	958
	-0,34 ^c	158,1	357,6	li 30°C	119	142	156,5	172	328	582	653	728	751
	-0,32 ^c	182,2	350,7	re 30°C	66	71	121	144,5	314,5	573,5	708	828,5	929
	-0,09	167,6	304,8	W	53	83	97	133	273	513	711	795	958
	-0,33 ^d	170,8	354,1	K	66	126	139	158	317	579,5	673,5	750	929
	-0,21 ^d	171	329,8	Z	53	88,5	119,5	146,5	292	553	692,5	756	958
5-7 Jahre		131,7	344	W	201	-	205,5	232	296	488	689	-	825
		184,7	447	K	159	-	189	196	426,5	702	769,5	-	929
		170,5	399,8	Z	159	189	196	205,5	350	639,5	769,5	807,5	929
8-10 Jahre		175,6	290,8	W	75	78,5	95,5	128	257	470	795	825	826
		161,5	364,9	K	133	141	147,5	185,5	324	575,5	653	699,5	867
		172,5	328,6	Z	75	114,5	127	149,5	273,5	564	718	795	867
11-14 Jahre		171,7	299,5	W	53	81	88,5	115	266	531	603,5	711,5	958
		150,5	303,9	K	66	71	109	142	292	499,5	585	670	761
		161,7	301,7	Z	53	76	88,5	127,5	282	522	587	711,5	958

Tab.3 Kalorische Reaktion gesunder Kinder, gemessen an der maximalen Nystagmus-Gesamtamplitude in der Kulminationsphase von 30 Sekunden. Angabe der Medianwerte (50%), Interquantilbereiche, Mittelwerte (m), Standardabweichungen (s), gegliedert nach Altersgruppen (5-14, 5-7, 8-10 u. 11-14 Jahre) und nach Spülungen (einzelne Spülung, Warmspülung (W), Kaltspülung (K) u. alle 4 Spülungen (Z)), sowie der auf Signifikanz getesteten Spearman-schen Rang-Korrelationskoeffizienten (r_s) zwischen Alter und max. Gesamtamplitude/30sec für 5% (a), 2% (b), 1% (c) und 0,1% (d)

3.1.4. Maximale Durchschnittsamplitude/30sec

Aus der Tabelle 4 sind die Interquantilbereiche, Mittel- und Medianwerte, Standardabweichungen der maximalen Durchschnittsamplitude/30sec für verschiedene Altersgruppen und Spülungen ersichtlich sowie die Korrelationen mit dem Alter.

Mittel- bzw. Medianwerte aller 4 Spülungen liegen bei $10,1^{\circ}$ bzw. $9,6^{\circ}$. Der 90%-Interquantilbereich bewegt sich zwischen $4,5^{\circ}$ und $18,6^{\circ}$.

In allen Altersgruppen errechnen sich höhere Durchschnittsamplituden der Kaltspülungen gegenüber denen der Warmspülungen. So ergeben sich für alle Jahrgänge Mittel- bzw. Medianwerte von $11,1^{\circ}$ bzw. $10,2^{\circ}$ anhand der Kaltspülungen, $9,1^{\circ}$ bzw. $8,6^{\circ}$ anhand der Warmspülungen.

In den Altersgruppen ist die Beziehung der maximalen Durchschnittsamplitude zum Alter erkennbar: mit zunehmenden Alter nimmt die maximale Durchschnittsamplitude ab. In der Gruppe der 5 bis 7jährigen betragen die Mittel- bzw. Medianwerte aller 4 Spülungen $14,8^{\circ}$ bzw. $14,4^{\circ}$, in der Gruppe der 8 bis 10jährigen $10,1^{\circ}$ bzw. $9,8^{\circ}$ und in der Gruppe der 11 bis 14jährigen Kinder nur $8,2^{\circ}$ bzw. $7,7^{\circ}$ d.h. um fast die Hälfte geringer als in der ersten Altersgruppe.

Aus den auf Signifikanz getesteten Spearmanschen Rang- Korrelationskoeffizienten läßt sich diese Beziehung exakt quantifizieren und "beweisen". Der Korrelationskoeffizient aller Spülungen beträgt $-0,50$. Dabei zeigen die Kaltspülungen mit $-0,55$ geringfügig eine größere Altersabhängigkeit gegenüber den Warmspülungen mit $-0,45$. Die Ergebnisse sind auf einem hohen Niveau signifikant ($0,1\%$). In Abbildung 10 ist die maximale Durchschnittsamplitude/30sec der rechten Kaltspülung gegen das Alter aufgetragen. Schon prima vista läßt sich eine deutliche Altersabhängigkeit erkennen.

Alter	r_s	s	m	Spülung	100%	94%	90%	80%	50%	80%	90%	94%	100%
5-14 Jahre	-0,49 ^d	3,6	9,6	re 44°C	3,2	4,4	4,9	6,1	9	14,7	18,3	19,0	19,7
	-0,43 ^d	3,3	8,7	li 44°C	3,1	3,7	4,3	4,7	8,3	12,5	14,3	17,5	19,8
	-0,60 ^d	4,3	11,5	li 30°C	4,2	4,7	5,7	6,2	10,7	17,2	19,6	23	24,3
	-0,51 ^d	4,4	10,7	re 30°C	2,9	3,9	4,1	5,4	9,9	17,1	18,9	19,9	23,9
	-0,45 ^d	3,5	9,1	W	3,1	4	4,4	5,1	8,6	13,6	15,8	19	19,8
	-0,55 ^d	4,4	11,1	K	2,9	4,2	4,6	6	10,2	17,3	18,9	20,4	24,3
	-0,50 ^d	4,1	10,1	Z	2,9	4,2	4,5	5,6	9,6	15,6	18,6	19,5	24,3
5-7 Jahre		3,1	13,2	W	10	-	10,05	10,1	12,0	19,0	19,7	-	19,8
		4,3	16,2	K	7,9	-	9,3	10,9	15,8	23,0	23,8	-	24,3
		4,1	14,8	Z	7,9	9,1	10,05	10,15	14,4	20,0	23,05	23,8	24,3
8-10 Jahre		2,7	8,9	W	3,6	4,0	4,7	5,7	8,9	11,8	13,7	16,6	18,3
		3,2	11,2	K	3,7	5,7	6,1	7,1	11,8	15,2	16,6	17,1	18,6
		3,2	10,1	Z	3,6	4,7	5,3	6,4	9,8	13,8	15,9	17,1	18,6
11-14 Jahre		2,9	7,8	W	3,1	3,5	4,2	4,6	7,0	11,4	12,7	14,8	19,2
		3,0	8,6	K	2,9	4,1	4,2	4,6	8,5	13	14,2	15,5	16,5
		3,0	8,2	Z	2,9	3,9	4,2	4,6	7,7	12,4	14,1	15,0	19,2

Tab.4 Kalorische Reaktion gesunder Kinder, gemessen an der maximalen Nystagmus-Durchschnittsamplitude in der Kulminationsphase von 30 Sekunden. Angabe der Medianwerte (50%), Interquantilbereiche, Mittelwerte (m), Standardabweichungen (s), gegliedert nach Altersgruppen (5-14, 5-7, 8-10 u. 11-14 Jahre) und nach Spülungen (einzelne Spülung, Warmspülung (W), Kaltspülung (K) u. alle 4 Spülungen (Z)), sowie der auf Signifikanz getesteten Spearman-schen Rang-Korrelationskoeffizienten (r_s) zwischen Alter u. max. Durchschnittsamplitude/30sec für 5% (a), 2% (b), 1% (c) und 0,1% (d)

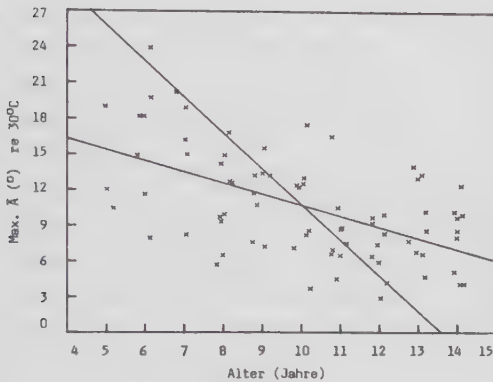


Abb.10 Abhängigkeit zwischen Alter und max. Durchschnittsamplitude/30sec für re 30°C. Beide Regressionsgeraden wurden eingezeichnet.

3.1.5. Reaktionsdauer

Die Tabelle 5 gibt Auskunft über Medianwerte, Interquantilbereiche, Mittelwerte, Standardabweichungen der Reaktionsdauer und über die auf Signifikanz getesteten Korrelationen mit dem Alter.

Wird die Reaktionsdauer aller Kinder ausgewertet, so liegen die Mittel- bzw. Medianwerte aller 4 Spülungen bei 101,3sec bzw. 97sec, der 90%-Interquantilbereich bewegt sich zwischen 55sec und 155sec.

In allen Altersgruppen weisen die Kaltspülungen eine höhere Reaktionsdauer auf als die Warmspülungen. So errechneten

Alter	r_s	s	m	Spülung	100%	94%	90%	80%	50%	80%	90%	94%	100%
5-14 Jahre	+0,43 ^d	29,7	93,4	re 44°C	42	46,5	49,5	55	90	133	149	161,5	173
	+0,38 ^d	32,1	103,2	li 44°C	44	49,5	55	65	96	149	154,5	173,5	197
	+0,29 ^b	27,9	100,1	li 30°C	43	59,5	63	69,5	96	138,5	152,5	164	179
	+0,44 ^d	27,9	107,4	re 30°C	54	55	61	74	106	143,5	155,5	168	175
	+0,39 ^d	31,4	98,6	W	42	48	51	61	94	143	152,5	171,5	197
	+0,39 ^d	28,1	103,8	K	43	56,5	60,5	72	105	142	155,5	165	179
	+0,38 ^d	29,9	101,3	Z	42	52	55	65	97	142,5	155	165	197
5-7 Jahre		21,2	71,4	W	44	-	45	48,5	69	95	121,5	-	142
		17,3	84,6	K	55	-	56,5	58,5	82,5	112	117,5	-	123
		20,3	78,6	Z	44	46,5	48,5	52	80	103	117,5	122,5	142
8-10 Jahre		25,1	94,7	W	42	45,5	51	64,5	93	129	140	143	145
		23,6	99,4	K	43	54	65	74	100	129,5	141	151,5	160
		24,5	97,1	Z	42	51	59,5	67	96	130	139	142	160
11-14 Jahre		31,0	111,5	W	60	64	67	74	104	152,5	171,5	173,5	197
		29,2	115,5	K	54	60,5	67	72,5	115	155	168	174,5	179
		30,2	113,5	Z	54	62	67	73	113	155	171,5	174	197

Tab.5 Kalorische Reaktion gesunder Kinder, gemessen an der Nystagmus-Reaktionsdauer. Angabe der Medianwerte (50%), Interquantilbereiche, Mittelwerte (m), Standardabweichungen (s), gegliedert nach Altersgruppen (5-14, 5-7, 8-10 u. 11-14 Jahre) und nach Spülungen (einzelne Spülung, Warmspülung (W), Kaltspülung (K) u. alle 4 Spülungen (Z)), sowie der auf Signifikanz getesteten Spearmanschen Rang-Korrelationskoeffizienten (r_s) zwischen Alter und Reaktionsdauer für 5% (a), 2% (b), 1% (c) und 0,1% (d)

sich für die Kaltspülungen der 5 bis 7jährigen Kinder Mittel- bzw. Medianwerte von 84,6sec bzw. 82,5sec, für die Warmspülungen Werte von 71,4sec bzw. 69sec.

Beim Vergleich der Altersgruppen nehmen Mittel- bzw. Medianwerte der Reaktionsdauer mit dem Alter zu. Mittel- bzw. Medianwerte der 5 bis 7jährigen betragen 78,6sec bzw. 80sec, der 8 bis 10jährigen 97,1sec bzw. 96sec und der 11 bis 14jährigen 113,5sec bzw. 113sec.

Die Berechnung des Spearmanschen Rang- Korrelationskoeffizienten aller Spülungen ergibt einen Wert von +0,38 mit einem Signifikanzniveau von 0,1%, wobei die Ergebnisse der Kalt- und Warmspülungen identisch sind. Für die rechte Warmspülung ist im Scatterdiagramm die Abhängigkeit zwischen Alter und Reaktionsdauer graphisch dargestellt, einschließlich der beiden Regressionsgeraden (Abb.11).

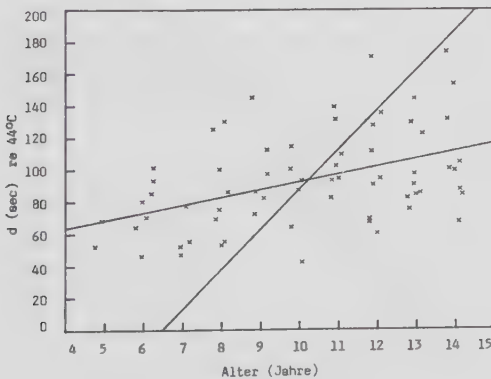


Abb.11 Abhängigkeit zwischen Alter und Reaktionsdauer für re 44°C. Beide Regressionsgeraden wurden eingezeichnet.

3.2. Korrelationen zwischen den Nystagmusparametern

In Tabelle 6 sind maximale Schlagzahl/30sec, maximale Winkelgeschwindigkeit/30sec, maximale Gesamtamplitude/30sec, maximale Durchschnittsamplitude/30sec und Reaktionsdauer untereinander korreliert. Die ermittelten Werte sind mit Hilfe des Spearmanschen Rang- Korrelationskoeffizienten auf Signifikanz getestet.

Der höchste Spearmansche Korrelationskoeffizient ließ sich zwischen maximaler Winkelgeschwindigkeit und maximaler Gesamtamplitude der Kulminationszeit ermitteln. So betrug der Koeffizient, alle 4 Spülungen eingeschlossen, $+0,84$ mit einem Signifikanzniveau von $0,1\%$. Aus Abbildung 12 ist diese Beziehung für die rechte Kaltspülung schon qualitativ erkennbar.

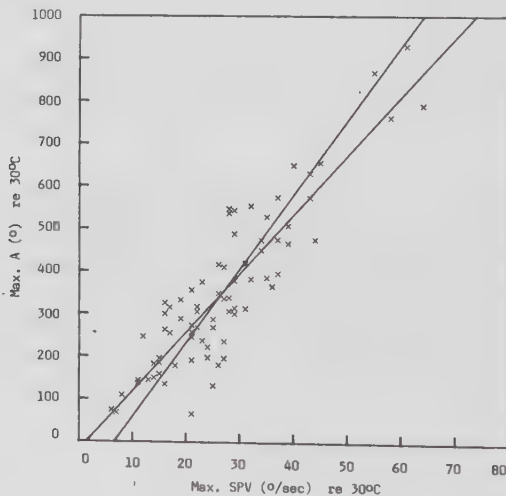


Abb.12 Abhängigkeit zwischen max. SPV/30sec und max. Gesamtamplitude für re 30°C. Beide Regressionsgeraden wurden eingezeichnet.

	max. $f_T/30\text{sec}$		max. $SPV/30\text{sec}$		max. $A/30\text{sec}$		max. $\bar{A}/30\text{sec}$	
max. $SPV/30\text{sec}$	+0,48 ^d +0,42 ^d +0,46 ^d	+0,55 ^d +0,37 ^c						
max. $A/30\text{sec}$	+0,69 ^d +0,59 ^d +0,62 ^d	+0,70 ^d +0,54 ^d	+0,79 ^d +0,85 ^d +0,84 ^d	+0,83 ^d +0,85 ^d				
max. $\bar{A}/30\text{sec}$	-0,17 0,00 -0,06	+0,09 -0,15	+0,52 ^d +0,74 ^d +0,67 ^d	+0,69 ^d +0,69 ^d	+0,54 ^d +0,78 ^d +0,72 ^d	+0,75 ^d +0,72 ^d		
d	+0,45 ^d +0,40 ^d +0,39 ^d	+0,31 ^c +0,45 ^d	-0,06 -0,03 -0,05	-0,10 -0,02	+0,24 +0,17 +0,18 ^c	+0,08 +0,15	-0,11 -0,09 -0,13 ^a	-0,17 -0,20

re 44°C li 44°C
re 30°C li 30°C
alle 4 Spülungen

Tab.6 Spearmansche Rang- Korrelationskoeffizienten r_s zwischen den Nystagmusparametern, für 5% (a), 2% (b), 1% (c) und 0,1% (d) auf Signifikanz getestet

Mittlere Korrelationen, wie im vorhergehenden Abschnitt mit positivem Vorzeichen, bestehen bei folgenden Kombinationen: maximale Gesamtamplitude - maximale Schlagzahl (+0,62), maximale Durchschnittsamplitude - maximale Winkelgeschwindigkeit (+0,67) und maximale Gesamtamplitude - maximale Durchschnittsamplitude (+0,72). Sie sind auf hohem Niveau signifikant (0,1%).

Schwache Korrelationen lassen sich zwischen maximaler Schlagzahl einerseits und maximaler Winkelgeschwindigkeit sowie Reaktionsdauer andererseits errechnen. Der erste Wert beträgt +0,46, der zweite +0,39 bei einem Signifikanzniveau von 0,1%. Für die übrigen Korrelationen (max. fr - max. $\bar{A}$, max. SPV - d, max. A - d, max. $\bar{A}$ - d) lassen sich in der Mehrzahl keine bedeutend starke, signifikanten Beziehungen ermitteln.

3.3. Differenzen der Erregbarkeit

3.3.1. Seitendifferenz der Erregbarkeit

Entsprechend der von JONGKEES et al. (56) vorgeschlagenen und von HENRIKSSON et al. (49) modifizierten Formel lassen sich die Seitendifferenzen der absoluten Zahlenwerte der Reaktionsintensität folgendermaßen berechnen:

Seitendifferenz in %:

$$\frac{(re\ 30^{\circ}C + re\ 44^{\circ}C) - (li\ 30^{\circ}C + li\ 44^{\circ}C)}{(re\ 30^{\circ}C + li\ 30^{\circ}C + re\ 44^{\circ}C + li\ 44^{\circ}C)} \times 100\%$$

Es ergibt sich ein positives Vorzeichen bei einem Überwiegen der Reaktionsintensität auf der rechten Seite, ein negatives bei einem Überwiegen auf der linken Seite.

In Tabelle 7 sind Mittel-bzw. Medianwerte, Interquantilbereiche und Standardabweichungen der Seitendifferenzen

s	m	Parameter	100%	94%	90%	80%	50%	80%	90%	94%	100%
9,1	+0,4	max. fr/30sec	-19	-18	-17	-13	0,0	+12	+14	+16	+24
10,4	+1,9	max. SPV/30sec	-21	-16	-16	-10	0,0	+18	+21	+21	+26
14,5	+1,6	max. A/30sec	-32	-22	-19	-17	+1,2	+21	+25	+30	+34
8,7	+0,8	max. $\bar{A}$ /30sec	-19	-16	-15	-11	+1,4	+12	+15	+17	+22
7,7	-1,2	d	-20	-15	-14	-12	-1,1	+8	+11	+13	+18

Tab.7 Medianwerte (50%), Interquantilbereiche, Mittelwerte (m) und Standardabweichungen (s) der Seitendifferenzen anhand der Nystagmusparameter

s	m	Parameter	100%	94%	90%	80%	50%	80%	90%	94%	100%
9,5	+0,8	max. fr/30sec	-19	-17	-16	-11	+0,3	+16	+18	+20	+29
12,1	-3,3	max. SPV/30sec	-35	-24	-21	-21	-2,6	+14	+16	+19	+23
16,5	-1,6	max. A/30sec	-39	-32	-28	-23	-2,4	+21	+26	+27	+34
11,6	-2,8	max. $\bar{A}$ /30sec	-30	-21	-18	-17	-2,7	+16	+16	+17	+21
12,0	+3,5	d	-31	-18	-17	-13	+3,7	+20	+23	+25	+27

Tab.8 Medianwerte (50%), Interquantilbereiche, Mittelwerte (m) und Standardabweichungen (s) des Richtungsüberwiegens anhand der Nystagmusparameter

für die verschiedenen Reaktionsintensitäten angegeben. Auf die Mitteilung von Altersgruppen und Korrelationen mit dem Alter wurde wegen mangelnder Altersabhängigkeit und Signifikanz verzichtet. Die Berechnung der Korrelationen erfolgte sowohl für vorhandene Seitendifferenzen als auch für deren Absolutbeträge.

Vergleicht man die Interquantilbereiche, so ergeben sich für die Reaktionsdauer die kleinsten Grenzen; der 94%-Interquantilbereich bewegt sich zwischen +13% und -15%. Die Grenzen der maximalen Schlagzahl, Winkelgeschwindigkeit und Durchschnittsamplitude liegen weiter auseinander, der erste Parameter zwischen +16% und -18%, der zweite zwischen +21% und -16% und der letztgenannte zwischen +17% und -16%. Die größten Schranken lassen sich mit einem 94%-Interquantilbereich von +30% bzw. -22% für die Seitendifferenz der maximalen Gesamtamplitude ermitteln.

Maximale Schlagzahl und maximale Winkelgeschwindigkeit lassen kein Überwiegen einer bestimmten Seite erkennen (Medianwert 0%). Während die Reaktionsdauer ein leichtes Überwiegen der linken Seite (Medianwert -1,1%) zeigt, ergibt sich für die maximale Gesamtamplitude und Durchschnittsamplitude das Gegenteil (Medianwert von max. A + 1,2% und von max. $\ddot{A}$ + 1,4%).

3.3.2. Richtungsüberwiegen des Nystagmus

Das Richtungsüberwiegen der absoluten Zahlenwerte der Reaktionsintensität läßt sich nach der von JONGKEES (56) vorgeschlagenen und von HENRIKSSON (49) modifizierten Formel folgendermaßen berechnen:

Richtungsüberwiegen in %:

$$\frac{(\text{re } 30^{\circ}\text{C} + \text{li } 44^{\circ}\text{C}) - (\text{li } 30^{\circ}\text{C} + \text{re } 44^{\circ}\text{C})}{(\text{re } 30^{\circ}\text{C} + \text{li } 30^{\circ}\text{C} + \text{re } 44^{\circ}\text{C} + \text{li } 44^{\circ}\text{C})} \times 100\%$$

Entsprechend dieser Formel ergibt sich ein positives Vorzeichen bei einem Überwiegen der Reaktionsintensität des linksgerichteten Nystagmus, ein negatives bei einem Überwiegen der Reaktionsintensität des rechtsgerichteten Nystagmus.

Wegen der mangelnden Altersabhängigkeit wurde auf die Angabe von Altersgruppen und Korrelationen in Tabelle 8 verzichtet.

Ein Überwiegen des linksgerichteten Nystagmus ließ sich für die Reaktionsdauer ermitteln, für die maximale Winkelgeschwindigkeit, Gesamtamplitude und Durchschnittsamplitude ein Überwiegen der Gegenseite und für die maximale Schlagzahl nahezu kein Überwiegen einer Nystagmusrichtung.

Bei Vergleich der 94%-Interquantilbereiche ergeben sich für die maximale Gesamtamplitude mit +27% bzw. -32% die weitesten Schranken, für die maximale Schlagzahl mit +20% bzw. -17% und für die maximale Durchschnittsamplitude mit +17% bzw. -21% die kleinsten Grenzen. Der 94%-Interquantilbereich der maximalen Winkelgeschwindigkeit bewegt sich zwischen +19% und -24%, der 94%-Interquantilbereich der Reaktionsdauer zwischen +25% und -18%.

4. Diskussion

4.1. Die Altersabhängigkeit der kalorischen Reaktion

Als Ausgangspunkt wird die morphologische Entwicklung des kindlichen Gleichgewichtsorganes behandelt. Der vestibuläre Apparat ist im Gestationsalter von $9\frac{1}{2}$ Wochen vollständig histologisch entwickelt (51), die vestibulären Neurone sind im Gestationsalter von 21 Wochen funktionsfähig (52). Von allen zentralen Bahnen werden die vestibulären Neurone zuerst myelinisiert; die Myelinisierung ist zum Zeitpunkt der Geburt abgeschlossen (51,62). Das häutige und das knöcherne Labyrinth (20), die Anzahl der Sinneszellen (85,86) und myelinisierten Nervenfasern (8) sind zum Zeitpunkt der Geburt vollständig. Beim neugeborenen Kind hat das Labyrinth eine ähnliche Größe, Position und Anordnung wie beim Erwachsenen (87).

Trotz dieser ähnlichen morphologischen Befunde zwischen Kindern und Erwachsenen unterscheidet sich die vestibuläre Antwort nach kalorischer Reizung deutlich.

Die maximale Schlagzahl nimmt signifikant mit dem Alter unserer Kinder zu; die Korrelationen mit dem Alter sind aber nur schwach ausgeprägt, wobei die Warmspülungen die Kaltspülungen überwiegen. Die absoluten Werte unterscheiden sich durch ihre geringe Größe deutlich von den Vergleichswerten Erwachsener. Die Daten von Erwachsenen anderer Autoren und unseren untersuchten Kindern werden im Abschnitt 4.2. näher verglichen.

Auch für die Reaktionsdauer besteht dieselbe Altersbeziehung, die aber deutlicher ausgeprägt ist. Bezüglich der Kalt- und Warmspülungen bestehen nur geringe Unterschiede.

Maximale Winkelgeschwindigkeit, Gesamtamplitude und Durchschnittsamplitude zeigen ein entgegengesetztes Verhalten der

Altersabhängigkeit als Reaktionsdauer und maximale Schlagzahl. Von allen besprochenen Nystagmusparametern zeigt die maximale Durchschnittsamplitude die größte Altersabhängigkeit.

Dabei überwiegen die Spearmanschen Rang-Korrelationskoeffizienten der Kaltspülungen die Zahlenwerte der Warmspülungen mehr oder minder stark, für die maximale Gesamtamplitude ergibt sich sogar anhand der Warmspülungen keine signifikante Korrelation. Auffällig sind die größeren Meßwerte der Kaltspülungen gegenüber denen der Warmspülungen, besonders bei der maximalen Gesamtamplitude und Durchschnittsamplitude. Insgesamt gesehen stellt die Kaltspülung entsprechend dem 2. EWALDSCHEN Gesetz einen stärkeren Reiz dar. Allerdings nimmt der Abstand zwischen den Werten der Kalt- und Warmspülungen von der niedrigsten zur höchsten Altersgruppe ab. Entsprechend der Altersabhängigkeit nehmen maximale Winkelgeschwindigkeit und Durchschnittsamplitude besonders in den jüngeren Altersgruppen größere Werte an als bei Erwachsenen, für die maximale Gesamtamplitude läßt sich kein gesicherter Vergleich ermitteln (nähere Erläuterungen im Abschnitt 4.2.1.).

Dagegen zeigten in der Veröffentlichung von MICHISHITA (66) die 7 bis 9jährigen Kinder die höchsten Werte bezüglich Frequenz und Reaktionsdauer. Die Winkelgeschwindigkeit nahm wie bei unseren Ergebnissen kontinuierlich mit dem Alter ab.

Anhand der maximalen Schlagzahl und Winkelgeschwindigkeit stellten GUITRANCOURT et al. (40) ähnliche Ergebnisse wie in der vorliegenden Untersuchung bezüglich der Altersabhängigkeit fest. Die Autoren untersuchten 140 Kinder im Alter von 2 bis 10 Jahren auf der Basis von kalorischen Tests mit Luft bei Temperaturen von 24°C und 50°C. Für die maximale Winkelgeschwindigkeit wiesen sie eine signifikante Altersabhängigkeit anhand der Kaltspülungen und der ersten beiden Altersgruppen (2-3 und 4-5 Jahre) nach; für die maximale Schlag-

zahl wiesen sie eine signifikante Altersabhängigkeit zwischen den 2 bis 3jährigen und 4 bis 7jährigen Kindern sowie zwischen den 4 bis 7jährigen und 8 bis 10jährigen Kindern nach.

Insgesamt gesehen sind die Meßwerte der kalorischen Prüfung vom Alter abhängig. Die vestibuläre "Antwort" des Kindes nach kalorischer Reizung unterscheidet sich trotz ähnlicher morphologischer Befunde der zentralen und peripheren Anteile des Vestibularissystems deutlich von der des Erwachsenen.

TIBBLING (95) untersuchte 84 Kinder (Neugeborene und Kinder bis 15 Jahre) mit Hilfe von Rotationstests. Die Autorin wies für Frequenz, Winkelgeschwindigkeit, Durchschnittsamplitude und Reaktionsdauer eine ähnliche Altersabhängigkeit nach wie in der vorliegenden Untersuchung. Nach ihrer Meinung wird die vestibuläre Aktivität von zwei Faktoren beeinflusst, einer peripheren vestibulären und einer zentralen Aktivität: "Im Hinblick auf diese Einteilung weisen die kleineren (Kinder) eine große periphere und eine kleine zentrale Nystagmusintensität im Vergleich mit den älteren (Kindern) auf." TIBBLING (93,94) konnte auf experimentelle Weise die Bedeutung der Winkelgeschwindigkeit als Maß für die periphere Aktivität zeigen d.h. je größer die Winkelgeschwindigkeit, desto größer ist die periphere Aktivität. Nikotin ist eine zentral erregende Substanz, ruft eine Steigerung der Nystagmusfrequenz und eine Senkung der Amplitude der langsamen Phase hervor, während die Winkelgeschwindigkeit der langsamen Phase unbeeinflusst bleibt. Es nimmt also die Fähigkeit der schnellen Phase zu, die langsame Phase zu unterbrechen. Die schnelle Phase ist zentral bedingt (16). Die durchschnittliche Amplitude ist also ein Maß für die zentrale Aktivität d.h. je kleiner die Amplitude, desto größer sind die zentralen inhibitorischen und modifizierenden Einflüsse. Demnach sind die niedrigere Frequenz und die höhere Amplitude bei Kindern durch die geringere "Antwortfähigkeit" des Gehirns auf vestibuläre Reize zu erklären. Nach

PIGNATARO et al. (80) entspricht interessanterweise der zentrale Reifungsgrad des Kindes im ENG dem des EEG.

Diese Ergebnisse sind anhand von rotatorischen Tests ermittelt worden. Aufgrund ähnlicher Befunde der Altersabhängigkeit sind sie, wenn auch mit gewissen Einschränkungen, auf die kalorische Prüfung übertragbar.

ZELENKA et al. (104) untersuchten mit Hilfe der Audiometrie sowie der Rotationsprüfung nach BARANY und Kalorisationsprüfung nach KOBRAK 8 bis 14jährige Kinder, die termingerecht oder nach verkürzter Schwangerschaftsdauer geboren wurden. Aufgrund der Altersabhängigkeit der Reaktionsdauer folgte er irrtümlicherweise eine Unterfunktion des kindlichen Gleichgewichtsorganes, ohne die übrigen Nystagmusparameter zu untersuchen.

AUST et al. (1) unterzogen 172 hörgeschädigte Kinder der rotatorischen Prüfung. Sie stellten fest: "Auffallend ist für die postrotatorischen Nystagmen eine tiefliegende Kennlinie, die bei vollentwickelten Gleichgewichtssystemen einer Unterfunktion entsprechen würde. Beim Kind erklären wir diesen Befund als eine unvollständige Reifung im Bereich der übergeordneten diencephalen nystagmuskontrollierenden Zentren."

Zusammenfassend läßt sich also eine "Reifung" des Nystagmus in der Kindheit feststellen. Mit zunehmenden Alter scheint das ZNS einen stärkeren Einfluß auf die Nystagmusantwort zu nehmen.

4.2. Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren

4.2.1. Absolute Werte der Reaktionsintensität

Im folgenden Abschnitt werden die Reaktionsintensitäten der einzelnen Nystagmusparameter vornehmlich mit denen von Erwachsenen verglichen. Es finden sich nur wenig ausführliche Literaturstellen über die "normale" kalorische Reaktionslage des kindlichen Gleichgewichtsorganes (40,66). Zudem sind in der Veröffentlichung von GUITRANCOURT (40) die Meßwerte mit den eigenen nicht vergleichbar, da als Reizmedium Luft verwendet wurde.

Aufgrund der Altersabhängigkeit der Daten dieser Arbeit wurden die Werte der höchsten Altersgruppe herangezogen, die als Bezugsgruppe in Vergleich mit den Daten von Erwachsenen anderer Autoren dienten. Ein Vergleich der Ergebnisse ist wegen der unterschiedlichen Methodik der kalorischen Prüfung und ihrer Auswertung nur bedingt möglich d.h. nur unter Zugrundelegung der jeweiligen Methodik. In der Tabelle 9 wurden für die verschiedenen Reaktionsintensitäten Mittelwerte und, als Maß für die Streuung der Ergebnisse, die Variationskoeffizienten aller 4 Spülungen angegeben, sowie aus Gründen der Vergleichbarkeit teilweise Medianwerte. Die Streuung ist definiert als Quotient von Standardabweichung und Mittelwert und wird in % angegeben.

Die für verschiedene Zeitintervalle ermittelten maximalen Schlagzahlen wurden zum besseren Vergleich jeweils in Schläge/sec (=Frequenz) umgerechnet. Einige Werte der Reaktionsdauer schließen die Spülungszeit ein, diese sind in der Tabelle besonders gekennzeichnet.

Während maximale Schlagzahl und Reaktionsdauer bei unseren untersuchten Kindern niedrigere Werte als bei den Erwachsenen annehmen, liegen dagegen interessanterweise die Werte der maximalen Winkelgeschwindigkeit und Durchschnittsamplitude über

Autoren	max. fr (Schläge/sec)	max. SPV (°/sec)	max. A (°)	max. $\dot{A}$ (°)	d (sec)
Hamersma ⁴⁶	-	22,0 (42%)	-	-	212,3 ⁽¹⁾ (31%)
Stahle ⁹¹	-	15,8	-	-	176,5 ⁽²⁾
Praltz et al. ⁷⁹	2,34 ^x (37%)	-	30°/5sec	-	150 (19%)
Mehra ⁶⁵	-	23,5 (48%)	-	-	175,6 ⁽³⁾ (16%)
Baloh et al. ³ (w)	2,90 (17%)	22,6 (39%)	-	7,3 (48%)	124,0 (31%)
Sills et al. ⁸⁹	3,32 (20%)	18,0 (52%)	-	6,0 (43%)	127,7 (24%)
Mulch et al. ⁷³ re ^a li ^a	3,90 ^x (36%)	39,6 (57%)	258°/10sec ⁺	-	-
	4,00 ^x (35%)	39,2 (55%)	258°/10sec ⁺	-	-
Karbaumer ⁵⁷	1,84 ^x (32%)	17,3 (49%)	-	-	-
Ernst ²⁶	1,32 ^x (28%)	15,2 (51%)	-	-	-
eigene Ergebnisse					
5 - 7 Jahre	0,90 ^x (30%)	34,9 (34%)	399,8 [*] (43%)	14,8 (28%)	78,6 (26%)
8 - 10 Jahre	1,06 ^x (34%)	25,9 (42%)	328,6 [*] (52%)	10,1 (32%)	97,1 (25%)
11 - 14 Jahre	1,21 ^x (36%)	23,4 (45%)	301,7 [*] (54%)	8,2 (37%)	113,5 (27%)
			282 ^{+,*}		
5 - 7 Jahre ^b	0,83 ^{+,x}	32 ⁺	350 ^{+,*}	14,4 ⁺	80 ⁺
Glasowski et al. ³²	0,88 ^{+,x}	35 ⁺	323 ^{+,*}	-	-

Tab.9 Von verschiedenen Autoren mitgeteilte absolute Zahlenwerte der Reaktionsintensitäten einer "normalen" kalorischen Reaktion. Angegeben sind Mittelwerte und Variationskoeffizienten sowie teilweise die besonders gekennzeichneten Medianwerte. Mit Ausnahme der eigenen Ergebnisse und der Ergebnisse bei Glasowski et al. wurden die Werte der übrigen genannten Autoren an Erwachsenen ermittelt.

Die hochgestellten Zahlen bei den Autoren geben die Stelle im Literaturverzeichnis wieder.

^a Die Werte von Mulch et al. stellen jeweils die Summe der Ergebnisse zweier Spülungen auf einer Seite dar.

^b Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den Medianwerten der 3 bis 6-jährigen Kinder bei Glasowski et al. wurden die Medianwerte unserer 5 bis 7-jährigen Kinder angegeben.

(w) Bei Baloh et al. wurden nur die Werte der Warmspülung angegeben.

Die in Klammern angegebenen Prozentzahlen stellen die Variationskoeffizienten dar.

Die mit ^x versehenen max. Frequenzen sind aus den für verschiedene Zeitintervalle angegebenen max. Schlagzahlen berechnet worden.

Die mit ⁺ versehenen Zahlen stellen die Medianwerte dar.

Die mit ^{*} versehenen Zahlen stellen die max. Gesamtamplitude innerhalb der Kulminationszeit von 30sec dar.

Bei der mit ⁽¹⁾ versehenen Reaktionsdauer wurde die Spülungszeit von 30sec, bei der mit ⁽³⁾ versehenen Reaktionsdauer die Spülungszeit von 40sec in die Berechnung einbezogen, bei der mit ⁽²⁾ versehenen Reaktionsdauer erfolgte die Berechnung unter Einbeziehung der Nystagmusausschläge während der Kalorisation.

denen von Erwachsenen. Wie im Abschnitt 4.1. näher erläutert wurde, sind die Meßwerte der kalorischen Reaktion altersabhängig.

Für die maximale Frequenz bei Erwachsenen ermittelte KARBAUMER (57) einen Mittelwert von 1,84 Schlägen/sec, PFALTZ et al. (79) einen Mittelwert von 2,34 Schlägen/sec sowie MULCH et al. (73) einen Mittelwert von 3,90 Schlägen/sec auf der rechten Seite bzw. von 4,0 Schlägen/sec auf der linken Seite, jeweils als Summe der Ergebnisse zweier Spülungen auf einer Seite. SILLS et al. (89) und BALOH et al. (3) geben mit 3,32 und 2,90 Schlägen/sec deutlich höhere Frequenzen bei Erwachsenen an als alle anderen Autoren, was möglicherweise durch die Auswertung mit speziellen Computerprogrammen bedingt ist. Für unsere Gruppe der 11 bis 14jährigen Kinder ließ sich dagegen nur ein Mittelwert von 1,21 Schlägen/sec ermitteln. ERNST (26) errechnete mit 1,32 Schlägen/sec einen geringfügig höheren Mittelwert. Aufgrund der Altersabhängigkeit unterscheidet sich die maximale Frequenz besonders unserer 5 bis 7jährigen Kinder deutlich von den Ergebnissen bei ERNST. Für diese Altersgruppe ließ sich nur eine Frequenz von 0,90 Schlägen/sec ermitteln.

Ein ähnliches Bild ergibt sich beim Vergleich der Reaktionsdauer. Es muß aber die unterschiedliche Berechnung der Reaktionsdauer berücksichtigt werden. So beziehen HAMERSMA (46) und MEHRA (65) die Spülungszeit in diesen Parameter ein, STAHL (91) nimmt als Ausgangspunkt die Nystagmusausschläge während der Spülung. Trotz Berücksichtigung dieser Zeiten ist die Dauer des kalorischen Nystagmus bei unserer Vergleichsgruppe mit 113,5sec geringer als bei den Erwachsenen, besonders im Vergleich zu HAMERSMA mit 212,3sec. Nur die Mittelwerte bei BALOH et al. (3) mit 124sec und SILLS et al. (89) mit 127,7sec liegen geringfügig über den eigenen Ergebnissen, aber deutlich über denen unserer 8 bis 10jährigen und besonders 5 bis 7jährigen Kinder.

Im Gegensatz zu Frequenz und Reaktionsdauer nimmt die maximale Winkelgeschwindigkeit unserer 11 bis 14jährigen Kinder höhere Werte an als bei Erwachsenen. Der Mittelwert unserer Vergleichsgruppe betrug $23,4^{\circ}/\text{sec}$, für Erwachsene ermittelte KARBAUMER (57) $17,3^{\circ}/\text{sec}$, ERNST (26) $15,2^{\circ}/\text{sec}$, SILLS et al. (89) $18^{\circ}/\text{sec}$ sowie MULCH et al. (73) für die rechte Seite $39,6^{\circ}/\text{sec}$ bzw. für die linke Seite $39,2^{\circ}/\text{sec}$, und zwar jeweils als Summe der Ergebnisse zweier Spülungen auf einer Seite. Dagegen differieren die Daten von MEHRA (65) mit $23,5^{\circ}/\text{sec}$, HAMERSMA (46) mit $22^{\circ}/\text{sec}$ und BALOH et al. (3) mit $22,6^{\circ}/\text{sec}$ nur geringfügig von den eigenen Vergleichswerten. Es muß aber die unterschiedliche Methodik der kalorischen Prüfung berücksichtigt werden. Die hohen Werte bei MEHRA bzw. HAMERSMA könnten durch den stärkeren Reiz (250 ml Wasser in 40sec bzw. 250 ml in 30sec) bedingt sein, bei BALOH et al. könnte das sehr kleine Untersuchungskollektiv von 12 Probanden verantwortlich sein. Aufgrund der Altersabhängigkeit der maximalen Winkelgeschwindigkeit unterscheidet sich der Mittelwert unserer 5 bis 7jährigen Kinder ($34,9^{\circ}/\text{sec}$) deutlich von den Ergebnissen Erwachsener der genannten Autoren.

Meßwerte der maximalen Durchschnittsamplitude Erwachsener ließen sich nur in den Veröffentlichungen von BALOH et al. (3) und SILLS et al. (89) finden. Ein deutlicher Unterschied besteht zwischen den Mittelwerten von SILLS et al. mit 6° und unserer 11 bis 14jährigen Kinder mit $8,2^{\circ}$. Bei BALOH et al. differiert der Mittelwert der Warmspülung mit $7,3^{\circ}$ nur geringfügig von dem unserer Vergleichsgruppe mit $7,8^{\circ}$. Anhand der Mittelwerte unserer 8 bis 10jährigen und besonders 5 bis 7jährigen Kinder ergeben sich deutlich größere maximale Durchschnittsamplituden gegenüber den genannten Autoren.

Bezüglich der maximalen Gesamtamplitude läßt sich kein gesicherter Vergleich ermitteln. Der Mittelwert bei PFALTZ et al. (79) betrug $30^{\circ}/5\text{sec}$, der Medianwert bei MULCH et al.

(73) für jeweils eine Seite $258^{\circ}/10\text{sec}$, und zwar als Summe der Ergebnisse zweier Spülungen, sowie der Mittel-bzw. Medianwert unserer 11 bis 14jährigen Kinder $301,7^{\circ}$ bzw. $282^{\circ}/30\text{sec}$. Rechnet man die Gesamtamplituden auf ein konstantes Zeitintervall um, so ergeben sich für MULCH et al. deutlich höhere, für PFALTZ et al. deutlich niedrigere Gesamtamplituden als unsere Vergleichsgruppe.

GLASOWSKI et al. (32) untersuchten 60 ohrgesunden Kinder im Alter zwischen 3 und 6 Jahren mit Hilfe der thermischen Prüfung. Die Probanden wurden zwei Gruppen zugeordnet: "ohne Sedierung" und "mit Sedierung". Nur die Ergebnisse der ersten Gruppe wurden berücksichtigt. Die Medianwerte wurden denen unserer 5 bis 7jährigen Kinder gegenübergestellt. Die Ergebnisse zeigen in beiden Arbeiten nur geringe Unterschiede. GLASOWSKI et al. ermittelten eine maximale Frequenz von $0,88$ Schlägen/sec gegenüber $0,83$ Schlägen/sec, eine maximale Winkelgeschwindigkeit von $35^{\circ}/\text{sec}$ gegenüber $32^{\circ}/\text{sec}$ und eine maximale Gesamtamplitude von 323° gegenüber 350° unserer 5 bis 7jährigen Kinder. Ein Vergleich zwischen beiden Gruppen ist wegen der Altersabhängigkeit der Reaktionsintensitäten sowie wegen der kleineren Spülmenge (30 ml) problematisch. Wie in der vorliegenden Untersuchung liegen die Medianwerte bei GLASOWSKI et al. anhand der maximalen Winkelgeschwindigkeit deutlich über denen von Erwachsenen; für die maximale Frequenz trifft das Gegenteil zu.

Vergleicht man die Variationskoeffizienten, so ergibt sich folgendes Bild: Bezüglich der maximalen Frequenz und Winkelgeschwindigkeit ergeben sich bei unserem und dem Untersuchungsgut von KARBAUMER (57) und ERNST (26) keine wesentlichen Unterschiede. Die Variationskoeffizienten von KARBAUMER bzw. ERNST betrugen für die maximale Frequenz 32% bzw. 28% gegenüber 36%, für die maximale Winkelgeschwindigkeit 49% bzw. 51% gegenüber 45% unserer 11 bis 14jährigen

Kinder. Auch bei SILLS et al. (89), MULCH et al. (73) und BALOH et al. (3) zeigt sich eine größere Streuung der Ergebnisse der Winkelgeschwindigkeit im Vergleich zur Frequenz, was auf den unterschiedlichen Zahlenwerten beider Nystagmusparameter beruhen dürfte. Denn Unterschiede zwischen Standardabweichung und Mittelwert beeinflussen bei größeren absoluten Zahlenwerten weniger die Prozentzahlen der Streuung als im umgekehrten Falle. Die Streuung der Meßwerte wird beeinflusst durch: Psyche, Wetterfaktoren, Vigilanz, Blutdruck, Durchführung der Spülung, intraindividuelle Streuung und Pneumatisationsgrad des Mastoids (44).

Die niedrigsten Variationskoeffizienten der verschiedenen Nystagmusparameter des jeweiligen Autors lassen sich bei der Reaktionsdauer ermitteln, die Werte von BALOH et al. und SILLS et al. ausgenommen. Die Variationskoeffizienten von PFALTZ et al. (79) und MEHRA (65) waren anhand der Reaktionsdauer deutlich niedriger als in den Veröffentlichungen der übrigen Autoren; die Werte unserer Vergleichsgruppe (27%) lagen mit denen von BALOH et al., SILLS et al. und HAMERSMA (46) in gleicher Größenordnung.

Bezüglich der maximalen Durchschnittsamplitude waren unsere Werte (37%) niedriger als die von BALOH et al. (48%) und SILLS et al. (43%), wie aufgrund der höheren Durchschnittsamplitude zu erwarten war.

Für die maximale Gesamtamplitude ließen sich keine geeigneten Vergleichswerte finden. Von allen Parametern unserer Vergleichsgruppe zeigte die maximale Gesamtamplitude die größte Streuung (54%).

Entsprechend der Zahlenwerte der Reaktionsintensitäten nimmt die Streuung der Meßwerte anhand der maximalen Winkelgeschwindigkeit, Gesamtamplitude und Durchschnittsamplitude von der niedrigsten zur höchsten Altersgruppe zu. Paradoerweise verändern sich die Variationskoeffizienten der Reaktionsdauer in den Altersgruppen unseres Untersuchungs-

gutes nur geringfügig, die Variationskoeffizienten der maximalen Frequenz nahmen in der Gruppe der 11 bis 14jährigen Kinder sogar den höchsten Wert an.

Nach KURZEJA et al. (61) ist die diagnostische Wertigkeit eines Parameters durch Streuung und Reaktionsbreite bestimmt. Die Reaktionsbreite eines Nystagmusparameters gibt Auskunft über das Ausmaß der Änderung der Reaktionsstärke bei einer Abschwächung oder Verstärkung des thermischen Reizes und somit bei einer krankhaften Veränderung des Vestibularorganes. Die Frequenz dürfte wegen ihrer geringen Streuung der Meßwerte ein geeigneter Parameter sein. Die Reaktionsdauer zeigt wohl auch eine geringe Streuung der Meßwerte, aber auch eine sehr geringe Reaktionsbreite, wie KURZEJA et al. zeigen konnten.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde auf Darstellung der Spearmanschen Rang- Korrelationskoeffizienten zwischen den Reaktionsintensitäten in der Tabelle 9 verzichtet. Zum Vergleich wurden die Korrelationskoeffizienten von MULCH et al. (72) herangezogen, da sie auf einer ähnlichen Selektion des Untersuchungsgutes und ähnlichen Methodik der Auswertung basieren. Ein Vergleich zwischen den zwei verschiedenen Koeffizienten ist sinnvoll, da in der vorliegenden Untersuchung die Spearmanschen Rang- Korrelationskoeffizienten mit den Korrelationskoeffizienten annähernd identisch waren. Bezüglich der Korrelation zwischen maximaler Winkelgeschwindigkeit und maximaler Gesamtamplitude innerhalb der Kulminationszeit von 30sec zeigen die Daten keine großen Unterschiede. So errechneten MULCH et al. einen Wert von +0,91 (li 44°C) gegenüber 0,83 (li 44°C) unseres Untersuchungsgutes. In beiden Arbeiten ist diese Beziehung von allen möglichen Parameterkombinationen am dichtesten korreliert, sieht man von Kombinationen derselben Nystagmusparameter verschiedener Zeitabschnitte ab.

Die Korrelation zwischen maximaler Winkelgeschwindigkeit/30sec und maximaler Frequenz/30sec ergibt für die Warmspülungen ähnliche Werte (z.B. li 44°C: MULCH et al. +0,46-eigenes Ergebnis +0,55). Die Kaltspülungen zeigten bei MULCH et al. größere Korrelationskoeffizienten (z.B. li 30°C: MULCH et al. +0,51-eigenes Ergebnis +0,37). In beiden Arbeiten wurde zwischen maximaler Frequenz und maximaler Winkelgeschwindigkeit nur eine mittlere Korrelation (zwischen +0,37 und +0,60) gefunden.

Die Beziehung zwischen maximaler Frequenz/30sec und maximaler Gesamtamplitude/30sec ist in unserem Untersuchungsgut stärker. MULCH et al. errechneten einen Wert von +0,45 für die rechte Warmspülung gegenüber +0,69 unseres Untersuchungskollektives.

Zahlenwerte für die Korrelation von Reaktionsdauer mit anderen Parametern wurden in der Arbeit von MULCH et al. nicht berücksichtigt. Es bestanden aber wie in der vorliegenden Untersuchung nur geringe Korrelationen.

Ähnlich wie bei MULCH et al. ergaben sich also anhand der Korrelation maximale Winkelgeschwindigkeit - maximale Gesamtamplitude hohe Werte, maximale Frequenz und maximale Winkelgeschwindigkeit waren weniger eng korreliert. Aufgrund dieser Ergebnisse folgerten MULCH et al. : " Die Befunde sprechen dafür, daß max. Geschwindigkeit der langsamen Phase und max. Amplitude einerseits und max. Frequenz und Gesamtschlagzahl andererseits Ausdruck verschiedener Eigenschaften des experimentellen Nystagmus darstellen." Dementsprechend ist es zumindest an Gesunden hinreichend, nur einen der jeweils eng korrelierten Parameter zu bestimmen d.h. Frequenz und Winkelgeschwindigkeit oder Gesamtamplitude. Für die Interpretation der kalorischen Reaktion soll man sich entsprechend der Forderung vieler Autoren (38,67,72) nicht auf einen Parameter beschränken. Inwieweit man sich trotz

dieser theoretischen Betrachtungen nur auf die Auswertung eines Parameters stützen kann, ist an größeren statistischen Untersuchungen an pathologischen Krankheitsbildern abzuklären.

Insgesamt gesehen können aufgrund der mehr oder minder stark altersabhängigen Ergebnisse der Reaktionsintensitäten keine "Normbereiche" anhand unseres Untersuchungskollektives aufgestellt werden und somit auch keine Bereiche der Über- oder Unterfunktion des Vestibularorganes. "Normbereiche" für einzelne Altersgruppen lassen sich nur nach einer entsprechend großen Zahl von Meßwerten ermitteln, da sie in einem weiten Bereich streuen.

Solche "Annäherungsbereiche" sind aber von klinischer Bedeutung. So kann eine Streptomycintherapie durch eine Schädigung beider Vestibularisnerven die kalorische Erregbarkeit herabsetzen, während die Differenzen der kalorischen Reaktion im "Normbereich" liegen.

Zur Darstellung von Ergebnissen der kalorischen Prüfung eignet sich ein von HAID und WIGAND (42) entwickeltes Analogschema, das "Calorigramm". Das Diagramm erleichtert die visuelle Erfassung verschiedener Reaktionsmuster z.B. Unter- oder Übererregbarkeit, Seitendifferenz oder Richtungsüberwiegen sowie die visuelle Erfassung von peripheren und zentralen Vestibularisstörungen.

Auf der Basis der Ergebnisse von 100 gesunden Erwachsenen wurden "Normbereiche" für die absoluten Zahlenwerte in das "Frequenz-Calorigramm" und in das "SPV-Calorigramm" übertragen, und zwar entsprechend der prozentualen Anteile der Meßwerte in Form von schraffierten Bereichen (57). Der dunkel schraffierte Bereich im "Frequenz-Calorigramm" umfaßt eine Schlagzahl von 35 bis 70 Schlägen/30sec (64,75%), die heller schraffierten Bereiche umfassen eine Schlagzahl von 25 bis 35 Schlägen/30sec (12,75%) bzw. von 70 bis 80 Schlägen/30sec (12,5%). Der dunkel schraffierte Bereich im

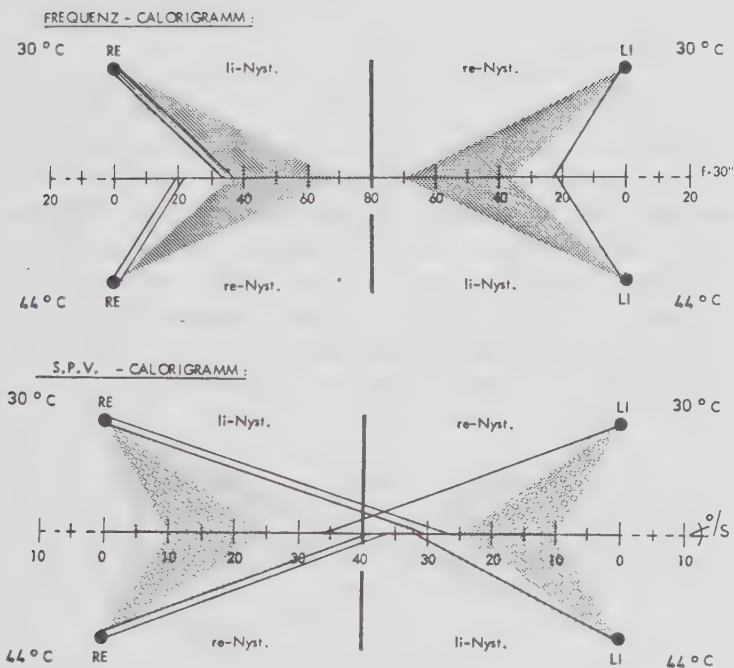


Abb.13 "Frequenz- und SPV-Calorigramm" eines gesunden 6jährigen Kindes. Mit Ausnahme der rechten Kaltspülung liegen die Werte der max. Schlagzahl unterhalb des Grenzwertes von 25 Schlägen/30sec d.h. außerhalb der schraffierten Bereiche des "Frequenz-Calorigrammes". Im "SPV-Calorigramm" befinden sich die Werte der rechten Warmspülung und der beiden Kaltspülungen jenseits des Grenzwertes von 40/sec.

"SPV-Calorigramm" umfaßt eine Winkelgeschwindigkeit zwischen $10^0/\text{sec}$ und $25^0/\text{sec}$ (66,25%), die heller schraffierten Bereiche umfassen eine Winkelgeschwindigkeit zwischen $5^0/\text{sec}$ und $10^0/\text{sec}$ (14,25%) sowie eine Winkelgeschwindigkeit zwischen $25^0/\text{sec}$ und $40^0/\text{sec}$ (16,75%).

Als Beispiel sind im "Frequenz- und SPV-Calorigramm" die Zahlenwerte der maximalen Schlagzahl/30sec und maximalen Winkelgeschwindigkeit/30sec eines gesunden 6jährigen Kindes graphisch dargestellt (Abb.13). Würden "Annäherungsbereiche" von Erwachsenen zugrunde gelegt, so würden sich anhand der maximalen Schlagzahl eine Untererregbarkeit, anhand der maximalen Winkelgeschwindigkeit eine Übererregbarkeit des Vestibularorganes ergeben. Dieses Beispiel veranschaulicht die Bedeutung der Erstellung von altersabhängigen "Annäherungsbereichen".

4.2.2. Differenzen der Reaktionsintensität

Der folgende Abschnitt vergleicht Seitendifferenz und Richtungsüberwiegen unseres Untersuchungsgutes vornehmlich mit den Differenzen Erwachsener. In der Tabelle 10 sind als Grenzwerte einer "normalen" Reaktion die zweifache Standardabweichung vom Mittelwert angegeben. Dabei wurden die Seitendifferenz und das Richtungsüberwiegen entsprechend der von JONGKEES et al. (56) vorgeschlagenen und von HENRIKSSON et al. (49) modifizierte Formel berechnet.

Die von KARBAUMER (57) und ERNST (26) für die Seitendifferenz angegebenen Grenzwerte Erwachsener anhand der maximalen Schlagzahl mit +10% bzw. -13% und +13% bzw. -15% liegen unter den eigenen Ergebnissen mit +19% bzw. -18%. PFALTZ et al. (79) bzw. MULCH et al. (73) errechneten mit 25% bzw. 24% deutlich höhere Grenzwerte. Die Ergebnisse von PFALTZ (77) zeigen mit 20% eine gute Übereinstimmung im Vergleich zu unseren Werten. Anhand der Seitendifferenz der maximalen Winkelgeschwindigkeit ermittelten MULCH et al. (73) bei Erwachsenen Grenzwerte von 38% und PFALTZ (77) Grenzwerte von 32% gegenüber +23% bzw. -19% unseres Untersuchungsgutes. Die angegebenen Grenzwerte lagen deutlich über den eigenen Ergebnissen. Die Grenzwerte von KARBAUMER (57) mit +20% bzw. -26%, von SILLS et al. (89) mit 25% bzw. -22% und BARBER et al. (6) mit 25% zeigen eine gute Übereinstimmung im Vergleich zu den eigenen Werten. Die Werte der maximalen Winkelgeschwindigkeit von JONGKEES et al. (56) liegen bei 15% und unterscheiden sich durch ihre geringe Größe deutlich von den Ergebnissen aller anderen Autoren. Dies könnte durch die homogene Zusammensetzung des Untersuchungskollektives bedingt sein (jüngere Schwestern, Ärzte, Studenten u.s.w.).

Bezüglich der maximalen Gesamtamplitude sind die Schranken der Seitendifferenz unseres Untersuchungsgutes deutlich niedriger im Vergleich zu denen von Erwachsenen. In der vorliegenden Untersuchung liegen die Werte der maximalen Gesamtamplitude

Autoren	Seitendifferenz in %					Richtungsüberwiegen in %				
	max. fr	max. SPV	max. A	max. Ä	d	max. fr	max. SPV	max. A	max. Ä	d
Jongkees ⁵⁶	-	15	-	-	14	-	18	-	-	30
Pfaltz et al. ⁷⁹	25	-	54	-	10	30	-	52	-	17
Barber et al. ⁶	-	25	-	-	-	-	30	-	-	-
Pfaltz ⁷⁷	20	32	-	-	10	24	40	-	-	17
Sills et al. ⁸⁹	+16 - 9	+25 -22	-	+16 -24	+18 -10	13	+26 -31	-	+19 -29	+14 -11
Vesterhage et al. ¹⁰⁰	-	-	19 ⁺	-	+19 - 8	-	-	+22 ⁺ -26	-	+39 -32
Mulch et al. ⁷³ Kollektiv a*	24	38	+41 -39	-	6 ^x	24	+32 -40	+30 -34	-	8 ^x
Karbaumer ⁵⁷	+10 -13	+20 -26	-	-	-	+20 -17	32	-	-	-
Ernst ²⁶	+13 -15	+24 -30	-	-	-	-	-	-	-	-
eigene Ergebnisse	+19 -18	+23 -19	+31 -27	+18 -17	+14 -17	+20 -18	+21 -27	+31 -35	+20 -26	+27 -21

Tab.10 Von verschiedenen Autoren angegebene Grenzwerte einer "normalen" kalorischen Reaktion (zweifache Standardabweichung vom Mittelwert) für die Seitendifferenz und das Richtungsüberwiegen, jeweils als Prozentwert der Gesamtreaktion. Mit Ausnahme der eigenen Ergebnisse wurden die Werte der übrig genannten Autoren an Erwachsenen ermittelt.

Die Vorzeichen der Prozentzahlen von Seitendifferenz und Richtungsüberwiegen wurden entsprechend der in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Modifikation der von Jongkees et al. stammenden Formel zur besseren Vergleichbarkeit umgerechnet.

Die hochgestellten Zahlen bei den Autoren geben die Stelle im Literaturverzeichnis wieder.

* Bei Mulch et al. wurden nur die Werte vom Kollektiv a berücksichtigt, da im Kollektiv b z.B. eine eventuell bestehende Schallleitungsschwerhörigkeit kein Ausschlußgrund war.

Die mit x versehenen Werte der Reaktionsdauer sind mit denen anderer Autoren nicht vergleichbar, da Meßwerte nur bis 240sec berücksichtigt wurden.

Die mit + versehenen Werte der max. Gesamtamplitude wurden an Amplituden der schnellen Phase errechnet.

bei +31% bzw. -27%, in der Arbeit von MULCH et al. (73) bei +41% bzw. -39% und in der Arbeit von PFALTZ et al. (79) bei 54%. Die Werte von VESTERHAUGE et al. (100) sind mit unseren nicht vergleichbar, da sie auf der Auswertung der Amplituden der schnellen Phasen basieren.

Nur SILLS et al. (89) veröffentlichten Grenzwerte der Seitendifferenz Erwachsener anhand der maximalen Durchschnitts-amplitude. Im Untersuchungskollektiv von SILLS et al. betrugen sie +16% bzw. -24% gegenüber +18% bzw. -17% unseres Untersuchungsgutes und liegen somit geringfügig über den eigenen Ergebnissen.

Die Grenzwerte der Seitendifferenz anhand der Reaktionsdauer zeigen zwischen den Ergebnissen von SILLS et al. (89) mit +18% bzw. -10%, JONGKEES et al. (56) mit 14% und unserem Untersuchungsgut mit +14% bzw. -17% keine großen Differenzen. Der Grenzwert von PFALTZ et al. (79) bzw. PFALTZ (77) betrug 10% und lag somit deutlich niedriger im Vergleich zu unseren Ergebnissen.

Anhand des Richtungsüberwiegens der maximalen Frequenz liegen die Grenzwerte Erwachsener bei MULCH et al. (73) sowie bei PFALTZ (77) mit 24% und besonders bei PFALTZ et al. (79) mit 30% über den eigenen Ergebnissen mit +20% bzw. -18%. Dagegen betrug der Grenzwert des Richtungsüberwiegens von SILLS et al. (89) 13% und liegt somit deutlich unter den eigenen Werten. KARBAUMER (57) ermittelte Grenzwerte von +20% bzw. -17%, die fast identisch mit den eigenen Ergebnissen sind.

Bezüglich der Grenzwerte des Richtungsüberwiegens der maximalen Winkelgeschwindigkeit liegen fast alle in der Tabelle angegebenen Werte von Erwachsenen über den eigenen Ergebnissen mit +21% bzw. -27%. So ermittelten MULCH et al. (73) Grenzwerte von +32% bzw. -40%, KARBAUMER (57) einen Grenzwert von 32%; bei JONGKEES et al. (56) liegen die Grenzwerte mit 18% deutlich niedriger gegenüber den Ergebnissen anderer Autoren.

Bezüglich des Richtungsüberwiegens der maximalen Gesamtamplitude ermittelten MULCH et al. (73) mit +30% bzw. -34% annähernd gleiche Ergebnisse im Vergleich zu unseren Werten mit +31% bzw. -35%, PFALTZ et al. (79) dagegen mit 52% deutlich höhere Ergebnisse.

Bei der maximalen Durchschnittsamplitude sind die Grenzwerte des Richtungsüberwiegens von SILLS et al. (89) annähernd identisch mit den eigenen Ergebnissen. SILLS et al. ermittelten Werte von +19% bzw. -29% gegenüber +20% bzw. -26% unseres Untersuchungsgutes.

Die anhand der Reaktionsdauer ermittelten Grenzwerte des Richtungsüberwiegens zeigen gegensätzliche Ergebnisse. So errechneten SILLS et al. (89) mit +14% bzw. -11% deutlich niedrigere, VESTERHAUGE et al. (100) mit +39% bzw. -32% deutlich höhere Grenzwerte gegenüber unseren Ergebnissen mit +27% bzw. -21%.

Die Ergebnisse von KARBAUMER (57) und ERNST (26) anhand der maximalen Frequenz und der maximalen Winkelgeschwindigkeit basieren auf der gleichen Selektion des Untersuchungsgutes sowie derselben Methodik der kalorischen Prüfung. Die Ergebnisse von ERNST wurden wegen der geringen Anzahl der Daten für Seitendifferenz und Richtungsüberwiegen (jeweils 16) nicht berücksichtigt. Es lassen sich über das Verhalten der Seitendifferenz und des Richtungsüberwiegens von Kindern und Erwachsenen genauere Aussagen treffen. So ermittelte KARBAUMER anhand der Grenzwerte der Seitendifferenz für die maximale Frequenz deutlich niedrigere, anhand der Grenzwerte des Richtungsüberwiegens für die maximale Winkelgeschwindigkeit deutlich höhere Werte. Die Schranken der Seitendifferenz für die maximale Winkelgeschwindigkeit und die Schranken des Richtungsüberwiegens für die maximale Frequenz sind in beiden Arbeiten annähernd identisch. Diese Befunde, mit Ausnahme der beiden letztgenannten, könnten auf die unter-

schiedlichen Werte der Parameter beruhen. KARBAUMER ermittelte anhand der maximalen Frequenz deutlich höhere, anhand der maximalen Winkelgeschwindigkeit deutlich niedrigere Meßwerte. So beeinflussen Unterschiede der Werte aller 4 Spülungen bei größeren absoluten Beträgen weniger die Prozentzahlen der Seitendifferenz und des Richtungsüberwiegens als im umgekehrten Fall.

Insgesamt gesehen bestehen bei der Mehrzahl der Autoren wie in der vorliegenden Untersuchung höhere Grenzwerte für das Richtungsüberwiegen als für die Seitendifferenz. Bei allen Autoren sind außerdem die für die Winkelgeschwindigkeit angegebenen Grenzwerte der Seitendifferenz und des Richtungsüberwiegens größer als diejenigen für die Frequenz, was auf der größeren Streuung der Meßwerte bei der Winkelgeschwindigkeit beruhen dürfte.

Der besondere Wert der kalorischen Prüfung liegt in der Aufdeckung von Erregbarkeitsdifferenzen zwischen rechts und links d.h. in der Feststellung einer einseitigen, meist peripher bedingten Untererregbarkeit z.B. nach einer Felsenbeinfraktur. Ein weiteres Kriterium zur Beurteilung einer thermischen Prüfung stellt das meist zentral bedingte Richtungsüberwiegen des Nystagmus dar d.h. die Intensität des Nystagmus in einer Schlagrichtung ist stärker gegenüber der anderen.

Anhand der Seitendifferenz und des Richtungsüberwiegens unseres Untersuchungsgutes mit jeweils einer Anzahl von 54 Daten wurden Grenzwerte einer "normalen" kalorischen Reaktion so festgelegt, daß von 54 Ergebnissen 53 unterhalb der festgelegten Schranken liegen. Für Seitendifferenz und Richtungsüberwiegen konnte keine Altersabhängigkeit nachgewiesen werden.

Für die Seitendifferenz der Erregbarkeit wurden folgende Grenzwerte einer "normalen" seitengleichen kalorischen Reaktion festgelegt:

- 20% anhand der maximalen Frequenz/30sec
- 25% anhand der maximalen Winkelgeschwindigkeit/30sec
- 32% anhand der maximalen Gesamtamplitude/30sec
- 20% anhand der maximalen Durchschnittsamplitude/30sec
- 18% anhand der Reaktionsdauer

Für das Richtungsüberwiegen ergaben sich folgende Grenzwerte einer "normalen" kalorischen Reaktion:

- 22% anhand der maximalen Frequenz/30sec
- 30% anhand der maximalen Winkelgeschwindigkeit/30sec
- 35% anhand der maximalen Gesamtamplitude/30sec
- 25% anhand der maximalen Durchschnittsamplitude/30sec
- 30% anhand der Reaktionsdauer

Natürlich dürfen Grenzwerte einer "normalen" kalorischen Reaktion nicht als starre Grenze zwischen physiologischen und pathologischen Bereich verstanden werden. Zudem stellt die kalorische Prüfung nach der Meinung vieler Autoren (41,67,68) nur einen Teil der Gleichgewichtsuntersuchung dar, in der Anamnese, klinischer Befund und Fahndung nach Spontan- und Provokationsnystagmus einen wichtigen Teil darstellen.

Als einzige Autoren gaben MICHISHITA (66) und EVIATAR et al. (27) anhand der kalorischen Prüfung Grenzwerte der Seitendifferenz und des Richtungsüberwiegens für Kinder an. MICHISHITA untersuchte das Verhalten der Frequenz, Winkelgeschwindigkeit und der Reaktionsdauer. Eine Seitendifferenz von mindestens 25% und ein Richtungsüberwiegen von mindestens 35% betrachtete er als zweifellos pathologisch. EVIATAR et al. gaben als Grenzwerte einer "normalen" Reaktion für die Seitendifferenz der Winkelgeschwindigkeit 15% an, für das Richtungsüberwiegen 18%; diese Ergebnisse gelten für Kinder ab 4 Jahren. Weitere Ergebnisse der kalorischen Prüfung teilten EVIATAR et al. nicht mit.

5. Zusammenfassung

Anhand der kalorischen Prüfung von 120 Kindern wurde das Verhalten der vestibulookulären Antwort in Abhängigkeit vom Alter und in Vergleich zu den Erwachsenen untersucht. Es wurden maximale Schlagzahl, maximale Winkelgeschwindigkeit, maximale Gesamtamplitude und maximale Durchschnittsamplitude innerhalb der Kulminationszeit von 30 sec sowie die Reaktionsdauer ausgewertet, und zwar für die Gesamtheit der Kinder als auch getrennt nach Altersgruppen (5-7, 8-10 und 11-14 Jahre). Die genannten Nystagmusparameter wurden mit dem Alter korreliert und ihre Altersabhängigkeit auf Signifikanz getestet. Zudem wurde das Verhalten der Seitendifferenz und des Richtungsüberwiegens der ausgewerteten Nystagmusparameter untersucht.

Die Werte der Reaktionsdauer und gering auch die Werte der maximalen Schlagzahl nehmen mit dem Alter zu. Dagegen nehmen die Werte der maximalen Winkelgeschwindigkeit und besonders der maximalen Durchschnittsamplitude deutlich mit dem Alter ab, in geringerem Maße die maximale Gesamtamplitude. Anhand der Seitendifferenz und des Richtungsüberwiegens der untersuchten Nystagmusparameter konnten aufgrund der fehlenden Altersabhängigkeit "Normwerte" festgelegt werden.

Diese Befunde deuten auf eine zunehmende Reifung der zentralen Anteile der Nystagmusintensität d.h. je älter das Kind, desto größer sind die zentral inhibitorischen und modifizierenden Einflüsse, obwohl entsprechend morphologischer Befunde das Vestibularissystem im Kindesalter voll funktionsfähig ist. Die altersabhängige vestibulookuläre Antwort unterliegt also im Kindesalter Reifungsprozessen übergeordneter Zentren und im späten Erwachsenenalter Einflüssen z.B. von seiten der Gefäßarteriosklerose (9).

6. Literaturverzeichnis

- 1) Aust, G., C. F. Claussen, M. v. Lühmann: Über die Gleichgewichtsfunktionsdiagnostik bei gehörgeschädigten Kindern. Mschr. Kinderheilk. 122 (1974) 637
- 2) Aust, G., P. Goebel: Vestibulookuläre Gleichgewichtsreaktion beim Säugling und Kleinkind. Z. Laryng. Rhinol. Otol. 58 (1979) 516
- 3) Baloh, R. W., A. W. Sills, L. Solingen, V. Honrubia: Caloric Testing, 1. Effect of different conditions of ocular fixation. Ann. Otol. 86 (1977) 1
- 4) Barany, R.: Untersuchungen über den vom Vestibularapparat des Ohres reflektierend ausgelösten rhythmischen Nystagmus und seine Begleiterscheinungen. Mschr. Ohrenheilk. 40 (1906) 193
- 5) Barber, H. O., G. Wright: Release of nystagmus suppression in clinical electronystagmography. Laryngoscope 77 (1967) 1016
- 6) Barber, H. O., G. Wright, F. Demanuelle: The hot caloric test as a clinical screening device. Arch. Otolaryng. 94 (1971) 335
- 7) Barnes, G. R., A. J. Benson: Adaptation in the caloric response, In: Hood J. H. ed. Vestibular mechanisms in health and disease. Academic Press (1978) 254
- 8) Bergström, B.: Morphology of the vestibular nerve, II. the number of myelinated vestibular nerve fibers in man at various ages. Acta Oto-Laryng. 76 (1973) 173

- 9) Bruner, A., T. W. Norris: Age related changes in caloric nystagmus. Acta Oto-Laryng., Suppl. 282 (1971)
- 10) Cawthorne, T., W. A. Cobb: Temperature changes in the perilymph space in response to caloric stimulation in man. Acta Oto-Laryng. 44 (1954) 580
- 11) Christian, W.: Erfahrungen mit der Nystagmographie des kalorisch ausgelösten Nystagmus. Z. Laryng. Rhinol. Otol. 33 (1954) 29
- 12) Christian, W.: Der Einfluß der Reizstärke auf Schlagzahl und Amplitude beim kalorisch ausgelösten Nystagmus. Z. Laryng. Rhinol. Otol. 33 (1954) 708
- 13) Claussen, C. F.: Die quantitative Vestibularisprüfung - eine audiogrammanaloge Auswertung von Nystagmusbefunden (Schmetterlingsschema). Z. Laryng. Rhinol. 48 (1969) 938
- 14) Claussen, C. F., E. Claussen, I. v. Schlachta: Die objektive Untersuchung der Vestibularisfunktion bei Kleinkindern. pädiat. prax. 12 (1973) 477
- 15) Claussen, C. F, G. Aust: Über das kalorisch ausgelöste Nystagmussignal. Arch. klin. exp. Ohr-Nas.-Kehlk. Heilk. 203 (1973) 255
- 16) Cohen, B.: Origin of quick phases of nystagmus . Progress in Brain Research 37 (1972) 544
- 17) Collins, W. E.: Manipulation of arousal and its effects on human vestibular nystagmus induced by caloric irrigations and angular accelerations. Aerospace Medicine 34 (1963) 124

- 18) Cooper, J. C., R. L. Mason: Variability of air calorics as water. Arch. Otolaryngol. 105 (1979) 113
- 19) Cyr, D. G.: Vestibular testing in children. Ann. Otol. Rhinol. Laryngol., Suppl. 74 (1980) 63
- 20) Dayal, V. S., J. Farkashidy, A. Kofshanian: Embryology of the ear. Canad. J. Otolaryng. 2 (1973) 136
- 21) Dayal, V. S., J. Farkashidy, B. Kuzin: Clinical evaluation of the hot caloric test as a screening procedure. Laryngoscope 83 (1973) 1433
- 22) Decher, H., E. Sperling: Das Richtungsüberwiegen des experimentellen Nystagmus als peripher oder zentral ausgelöstes Symptom. HNO 7 (1959) 362
- 23) Despons, J. L.: A propos de l'electronystagmographie chez l'enfant. Rev. Laryng. 87 (1966) 985
- 24) Eckel, W., W. Kuipers, D. Wendt: Elektronystagmographische Untersuchungen zur tageszeitlichen und durch verschiedene Bewußtseinsgrade bedingten Variabilität des experimentellen Nystagmus. Z. Hals-Nasen-Ohrenheilk. 181 (1963) 175
- 25) Emami-Nouri, M.: Die diagnostische Wertigkeit einiger Nystagmusparameter. HNO 22 (1974) 275
- 26) Ernst, M.: Quantitative Auswertung der thermischen Vestibularisprüfung. Inaugural-Dissertation Erlangen-Nürnberg (1982)
- 27) Eviatar, L., A. Eviatar: Neurovestibular examination of infants and children. Adv. Oto-Rhino-Laryng. 23 (1978) 169

- 28) Eviatar, L., A. Eviatar: The normal nystagmic response of infants to caloric and perrotatory stimulation. Laryngoscope 89 (1979) 1036
- 29) Fish, B., W. J. Dixon: Vestibular hyporeactivity in infants at risk for schizophrenia. Arch. Gen. Psychiatry 35 (1978) 963
- 30) Frenzel, H.: Calorische Prüfung mittels Wasserfüllung des Gehörgangs und mittels Luftgebläse. Z. Hals-Nasen-Ohrenheilk. 50 (1944) 485
- 31) Gillingham, K. K.: Mental arithmetic during electro-nystagmographic testing. Ann. Otol. Rhinol. 78 (1969) 575
- 32) Glasowski, P., U. Schiller, W. Geir: ENG bei Kleinkindern-ein Beitrag zur Untersuchungstechnik. Z. Laryng. Rhinol. 55 (1976) 1010
- 33) Goebel, P., G. Aust: Ein Vergleich der Entwicklung der Nystagmusfrequenz nach vestibulärer Stimulation mit der motorischen Entwicklung in den ersten Lebensjahren. Arch. Oto.-Rhino-Laryngol. 220 (1978) 265
- 34) Gramowski, K. H., E. Unger: Über die Altersabhängigkeit thermischer Labyrinthreaktionen. Z. Laryng. Rhinol. Otol. 52 (1973) 541
- 35) Greven, A. J., W. J. Oosterveld, W. J. A. C. Rademakers, R. Voorhoeve: Caloric vestibular test with the use of air. Ann. Otol. 88 (1979) 31

- 36) Groen, J. J.: Postnatal changes in vestibular reactions. Acta Oto-Laryng. 56 (1963) 390
- 37) Groen, J. J.: Central regulation of the vestibular system. Acta Oto-Laryng. 59 (1965) 211
- 38) Grohmann, R.: Zur Auswertung und Dokumentation von Elektronystagmogrammen. Laryng. Rhinol. 54 (1976) 498
- 39) Grohmann, R., B. Minigerode: Gesamtamplitude und Frequenz als Bewertungsgrößen des experimentellen Nystagmus. Acta Oto-Laryng. 63 (1967) 551
- 40) Guitrancourt, J. A., J. M. Peron D. Dehesdin, J. Aubet, Ph. Courtin: Normal vestibular responses to air caloric tests in children. Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol. 3 (1981) 245
- 41) Haid, T.: Das Positiogramm, eine Aufzeichnungsmethode der Lageprüfung in der Neurotologie. Laryng. Rhinol. 56 (1977) 1037
- 42) Haid, T. M. E. Wigand: Das Frequenz-Kalorigramm. Eine Analogdarstellung der kalorischen Nystagmusreaktion. Laryng. Rhinol. 55 (1976) 654
- 43) Haid, T.: Neurotological diagnosis of vestibular disorders in children. Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol. 1 (1979) 87
- 44) Haid, T.: Persönliche Mitteilung
- 45) Hallpike, C. S.: The caloric tests. J. Laryng. 70 (1956)

- 46) Hamersma, H.: The caloric test. Diss. Amsterdam (1957)
- 47) Hart, C. W. J.: The value of the hot caloric test.
Laryngoscope 75 (1965) 302
- 48) Henriksson, N. G.: Speed of slow component and duration
in caloric nystagmus. Acta Oto-Laryng., Suppl. 125 (1956)
- 49) Henriksson, N. G., C. R. Pfaltz, N. Torok, W. Rubin: A
synopsis of the vestibular system. An effort to stan-
dardize vestibular conceptions, tests and their eva-
luation. Sandoz Monographs (1972)
- 50) Hood, J. D.: Persistence of response in the caloric test.
Aerospace Medicine 44 (1973) 44
- 51) Hooker, D.: The prenatal origin of behaviour. Uni-
versity of Kansas Press, Lawrence (1952)
- 52) Humphrey, T.: Embryology of the central nervous system:
with some correlations with functional development.
Alabam. J. Med. Sci. 1: 60 (1964)
- 53) Ino, H., F. Hazeyama: Experimentelle Untersuchungen über
die Verkürzung des calorischen Nystagmus durch wieder-
holte thermische Reizungen. Z. Hals-Nasen-Ohrenheilk.
179 (1962) 443
- 54) Jongkees, L. B. W.: Value of the caloric test of the
labyrinth. Arch. Otolaryng. 48 (1948) 402
- 55) Jongkees, L. B. W.: Über die Untersuchungsmethoden des
Gleichgewichtsorgans. Fortschr. Hals-Nasen-Ohrenheilk.,
Bd. I, Karger, Basel-New York (1953) 1

- 56) Jongkees, L. B. W., A. J. Maas, J. P. M. Philipszoon: Clinical nystagmography. A detailed study of electro-nystagmography in 341 patients with vertigo. Pract. Oto-rhino-laryng. 24 (1962) 65
- 57) Karbaumer, W.: Die kalorische Prüfung des Vestibularorgans. Eine Untersuchung an 100 Gesunden zur Feststellung von "Normwerten" der kalorischen Labyrinthreaktion anhand der maximalen Frequenz und der maximalen Winkelgeschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase. Inaugural-Dissertation Erlangen-Nürnberg (1981)
- 58) Kornhuber, H. H.: Physiologie und Klinik des zentral-vestibulären Systems. Hals-Nasen-Ohrenheilk., ein kurzgef. Hdb., III/3 (1966) 2150. Hrsg.: Berendes, J., Link, R., Zöllner, F.
- 59) Kofanov, R. V.: Nystagmometry in children. Vestn. Otorinolaringol. 6 (1979) 3
- 60) Krejcova, H., M. Filipova, L. Krejci: Vestibulometric evaluation of the caloric reaction in children and in adults. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. 39 (1975) 441
- 61) Kurzeja, A., P. Strauss, A. Heinig, S. Löbner: Vergleich verschiedener Nystagmusparameter mit der gemessenen sog. maximalen Winkelgeschwindigkeit bei der thermischen Erregbarkeitsprüfung. Laryng. Rhinol. 57 (1978) 143
- 62) Langworthy, O. R.: Development of behaviour patterns and myelinization of nervous system in human fetus and infant. Contrib. Embryol. 24 (1933)

- 63) Latkowski, B.: Vereinfachte Berechnung der mittleren und Gesamtamplitude bei elektronystagmographischen Untersuchungen. Mschr. Ohrenheilk. 103 (1969) 541
- 64) Malcolm, R., G. M. Jones: A quantitative study of vestibular adaption in humans. Acta Oto-Laryng. 70 (1970) 126
- 65) Mehra, Y. N.: Electronystagmography. A study of caloric tests in normal subjects. J. Laryng. 78 (1964) 520
- 66) Michishita, K.: Studies of normal vestibular reaction in children. J. Oto-Rhino-Laryng. Soc. Jap. 70 (1967) 37
- 67) Minnigerode, B.: Kritisches zur Standardisierung quantitativer Vestibularisprüfung unter besonderer Berücksichtigung des Frequenznystagmogrammes. Laryng. Rhinol. 53 (1974) 837
- 68) Minnigerode, B., R. Grohmann, W. Bartholome: Zur Problematik der Elektronystagmographie in der klinischen Diagnostik der Vestibulariserkrankungen. Arch. Oto-Rhino-Laryngol. 218 (1977) 123
- 69) Mitchel, T., K. Cambon: Vestibular response in the neonate and infant. Arch. Otolaryng. 90 (1969) 556
- 70) Motgomery, P. C., D. M. Rodel: Effect of state on nystagmus duration on the Southern California Postrotary Nystagmus Test. American Journal of Occupational Therapy 36 (1982) 177
- 71) Mulch, G., B. Leonardy: Zur Tauglichkeit absoluter "Normwerte" bei der Beurteilung der thermischen Vestibularisprüfung. Laryng. Rhinol. 56 (1977) 376

- 72) Mulch, G., B. Leonardy, W. Petermann: Which are the parameters of choice for the evaluation of caloric nystagmus. Arch. Oto-Rhino-Laryngol. 221 (1978) 23
- 73) Mulch, G., B. Leonardy, W. Petermann: Normalwerte der thermischen Labyrinthreaktion. Laryng. Rhinol. 57 (1978) 528
- 74) Mulch, G., W. Petermann: Influence of age on results of vestibular function tests. Ann. Otol. Rhinol. Laryngol., Suppl. 87/88 (1978/79)
- 75) Ornitz, E. M., C. W. Atwell, D. O. Walter, E. Hartmann, A. R. Kaplan: The maturation of vestibular nystagmus in infancy and childhood. Acta Oto-Laryng. 88 (1979) 244
- 76) Pfaltz, C. R.: Die normale calorische Labyrinthreaktion. Arch. Hals-Nasen-Ohrenheilk. 192 (1957) 131
- 77) Pfaltz, C. R.: Vestibular diagnosis in Menières Disease. Arch. Oto-Rhino-Laryngol. 212 (1976) 321
- 78) Pfaltz, C. R.: Quantitative parameters in nystagmography. II. Nystagmus amplitude. ORL. 36 (1974) 46
- 79) Pfaltz, C. R., R. Gulick: Die pathologische calorische Labyrinthreaktion. Arch. Hals-Nasen-Ohrenheilk. 179 (1962) 525
- 80) Pignataro, O., L. Rossi, R. Gaini, C. Oldini, G. Sambataro, L. Nino: The evolution of the vestibular apparatus according to the age of the infant. Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol. 1 (1979) 165

- 81) Preber, L.: Vegetative reactions in caloric and rotatory tests. Acta Oto-Laryng., Suppl. 144
- 82) Pompeiano, O.: Reticular control of the vestibular nuclei: Physiology and pharmacology. Progress in Brain Research 37 (1972) 601
- 83) Ranacher, G.: Nystagmusauswertung am Computer. Arch. Oto-Rhino-Laryngol. 215 (1977) 257
- 84) Rohen, J. W.: Funktionelle Anatomie des Nervensystems. F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart-New York (1975)
- 85) Rosenhall, U.: Vestibular macular mapping in man. Ann. Otol. 81 (1972) 339
- 86) Rosenhall, U.: Mapping of the cristae ampullares in man. Ann. Otol. 81 (1972) 882
- 87) Sato, T.: Vergleichende Untersuchungen über die Bogengänge des Labyrinths beim neugeborenen und beim erwachsenen Menschen. Z. Ohrenheilk. 42 (1903) 137
- 88) Siegel, S.: Nonparametric statistics for the behavioral sciences. Mc Graw-Hill Book Company, New York, London, Toronto (1956)
- 89) Sills, A., R. W. Baloh, V. Honrubia: Caloric Testing, 2. Results in normal subjects. Ann. Otol. 86 (1977) 7
- 90) Smith, J. D., B. F. McCabe, R. F. Ulrich: An unusual form of alerting mechanism in electronystagmography. Ann. Otol. 82 (1973)

- 91) Stahle, J.: Electronystagmography in the caloric test. Acta Soc. Medic. Upsal. 61 (1957) 307
- 92) Thomsen, K. A.: The caloric test. Acta Otolaryng. 109 (1953) 189
- 93) Tibbling, L., N. G. Henriksson: Effect of cigarette smoking on the vestibular nystagmus pattern. Acta Otolaryng. 65 (1968) 518
- 94) Tibbling, L.: The influence of tobacco smoking, nicotine, CO and CO₂ on vestibular nystagmus. Acta Otolaryng. 68 (1969) 118
- 95) Tibbling, L.: The rotatory nystagmus response in children. Acta Otolaryng. 68 (1969) 459
- 96) Tjerström, Ö.: Nystagmus inhibition as an effect of eye closure. Acta Otolaryng. 75 (1973) 408
- 97) Tietze, G.: Beziehungen zwischen Parametern bei sägezahnähnlichen Kurven. Arch. klin. exp. Ohr.-Nas. - u. Kehlk. Heilk. 195 (1969) 121
- 98) Torok, N.: Quantitative parameters in nystagmography. I. The velocity of the slow phase. ORL. 36 (1973) 37
- 99) Veits, C., R. Kosel: Beiträge zur Lehre vom kalorischen Nystagmus. Mschr. Ohrenheilk. 64 (1930) 521
- 100) Vesterhauge, S., P. K. Larsen: Normal values in a routine ENG test. Acta Otolaryng. 84 (1977) 91

- 101) Wigand, M. E.: Schwindelzustände aus otologischer Sicht.
In: Schwindelzustände, Diagnostik und Therapie in der
Praxis, Hrsg.: H.H. Wieck. Thieme-Verlag, Stuttgart-
New York (1977)
- 102) Wirth, G.: Kalorische und rotatorische Untersuchungen
bei hörrestigen und gehörlosen Kindern. Z. Laryng.
Rhinol. 49 (1970) 238
- 103) Young, L. R., C. M. Oman: Model for vestibular
adaptation to horizontal rotation. Aerospace Medicine
40 (1969) 1076
- 104) Zelenka, J., B. Slaninová: Die Tätigkeit des Laby-
rinthes bei Kindern zwischen 8 und 14 Jahren, die ter-
mingerecht oder nach verkürzter Schwangerschaftsdauer
geboren sind. Z. Laryng. Rhinol. 45 (1966) 808

Herrn Prof. Dr. M. E. Wigand danke ich für die Möglichkeit der Erstellung dieser Dissertation.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Priv.Do. Dr. T. Haid für die Überlassung des Themas sowie seine tatkräftige Unterstützung und freundliche Betreuung.

Des weiteren gilt mein Dank Herrn Dr. M. Berg und Herrn Dr. S. Hoth für die tatkräftige Betreuung in statistischen Fragen, Frau Klose für die nette Unterstützung.

Wolfgang Muckelbauer

LEBENS LAUF

Persönliche Daten

Geburtstag: 10. Februar 1958
Geburtsort: Bamberg
Familienstand: ledig
Eltern: Friedrich Muckelbauer, Oberlokführer
gest. am 20.09.1970
Hildegard Muckelbauer, geb. Brust
kaufm. Angestellte

Schulbildung

1964 - 1968 Grundschule in Bamberg
1968 - 1977 Dientzenhofer-Gymnasium, Bamberg
Abschluß: Abitur

Hochschule

Uni - Erl.

28.08.1979 Ärztliche Vorprüfung
28.08.1980 Erste Ärztliche Prüfung
20.08.1982 Zweite Ärztliche Prüfung
04.04.1984 Zeugnis über die Ärztliche Prüfung

Druck: Copy Center 2000
Obere Karlstraße 30
8520 Erlangen